ȘTIINȚA PENTRU TOȚI

35

ELENA TOMA

Prin sistemul solar



Știința pentru toți

Cunoștințe despre Univers

COLECȚIA „ȘTIINȚA PENTRU TOȚI"
apare sub egida
CONSILIULUI NAȚIONAL AL
FRONTULUI UNITĂȚII SOCIALISTE

ELENA TOMA

Prin sistemul solar



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ
București, 1978

Coperta de: EUGEN KERRY

Redactor: MĂRIUCA MARCU
Tehnoredactor: MARILENA DAMASCHINOPOL

CUVÎNT ÎNAINTE

Care este locul Pămîntului în univers? — a fost o întrebare care, deși a frămîntat dintotdeauna omenirea, își păstrează mereu actualitatea. Din cele ce urmează, cititorul va afla felul în care s-a pus și se pune această întrebare, precum și răspunsul pe care cuceririle științei ni-l oferă.

Pămîntul este o planetă a sistemului solar, singura care poartă viață, Soarele fiind o stea asemănătoare miliardelor de stele.

Studiul amănunțit al mișcărilor, al datelor fizice și al compoziției chimice a celorlalte planete, pe lîngă faptul că lărgește cunoașterea fenomenelor din univers ne conduce la concluzii de ordin practic, elucidînd probleme legate de evoluția Pămîntului ca planetă, de dinamica scoarței terestre, deoarece istoria sistemului solar este și istoria Pămîntului. El s-a format, s-a modificat în timp și se găsește astăzi într-un moment al evoluției sale.

Întrebarea „care este locul Pămîntului în univers?" nu primește un răspuns definitiv atunci cînd afirmăm că este a treia planetă a sistemului solar, situată la distanța medie de 149 600 000 km de Soare, ci trebuie analizată și situația lui pe scara calitativă a evoluției materiei în univers.

Pînă de curînd, se credea că planeta Marte are canale ale căror forme păreau să trădeze existența unor ființe raționale și s-a ajuns chiar la ipoteza că sateliții lui sînt artificiali. De asemenea, despre Lună se credea că este în plină activitate, afirmîndu-se că prezintă unele fenomene de vulcanism. Dar omul, ieșind direct în spațiul cosmic, trimițînd stații spațiale pe suprafața sau în apropierea planetelor, a dezlegat o serie de enigme. Marte are atmosferă, dar nici unul din experimentele întreprinse pe suprafața acestei planete nu a dovedit prezența vieții, sateliții săi nu prezintă nimic misterios, Venus se rotește în sens retrograd, iar Uranus are și el inele.

Cercetarea sistemului solar contribuie la cunoașterea unor fenomene legate de magnetismul terestru, cum ar fi migrația polilor magnetici. Zborurile spațiale în afara atmosferei terestre ne aduc date privind variația intensității radiațiilor din spațiul cosmic. Toate aceste fenomene precum și altele, dintre care unele încă neobservate, influențează viața noastră.

Aș dori ca, după această lectură, cititorul să rămînă cu sentimentul imensității universului și al frumuseții legilor sale, să fie conștient că studiul astronomiei în general și al sistemului planetar în special a contribuit mult la dezvoltarea cunoașterii, demonstrînd în mod spectaculos legitatea mișcărilor și fenomenelor la scară mare.

Dacă planetele prezentau mișcări haotice, neavînd loc în plane apropiate, acestea ar fi fost mult mai greu de cunoscut. Faptul că planetele se mișcă însă după legi generale de echilibru, practic în același plan, a dezvăluit omenirii mai ușor legile mecanicii și a contribuit la evoluția gîndirii și civilizației omenești.

Și astăzi cosmosul ne învață legi noi. Chiar înțelegerea fenomenului vieții capătă un sens mai profund cînd îl căutăm în altă parte decît pe planeta noastră.

Cititorul are deci datoria să nu părăsească așadar din ochi Pămîntul, în momentul cînd va parcurge textul descriptiv și tabelele cu date fizice ale celorlalte planete și corpuri din sistemul solar.

Va înțelege astfel mai bine Pămîntul său și-l va iubi mai mult.

AUTORUL

1. ÎN JURUL SOARELUI

Viața omului se desfășoară într-un anumit peisaj geografic, completat de bolta cerească. De aceea, din cele mai vechi timpuri oamenii și-au îndreptat atenția asupra bolții cerești, asupra mișcării aștrilor, sesizînd astfel unele deosebiri privind aspectul și mișcarea lor pe boltă. (Prin astru înțelegem, în general, orice corp ceresc, adică oricare din corpurile luminoase naturale care se văd pe bolta cerească. Există și aștri cu lumină foarte slabă care nu se pot vedea cu ochiul liber, ci numai cu ajutorul instrumentelor astronomice).

Majoritatea aștrilor se văd dispuși pe cer după anumite configurații ce își păstrează forma o perioadă mare de timp, aștrii păstrîndu-și distanța pe boltă unii față de alții neschimbată, în prima aproximație; aceștia au fost numiți aștri „ficși" sau stele. Figurile formate de stele pe cer au fost numite *constelații*, iar imaginația oamenilor le-a atribuit asemănări cu animale și lucruri sau cu eroi legendari specifici fiecărui popor. Din această cauză, denumirile constelațiilor sînt foarte pitorești, contribuind la poezia științei care se ocupă de studiul corpurilor cerești.

Dar, printre aștrii observați sînt și planetele, aștri rătăcitori prin constelații; ele nu sclipesc, nu

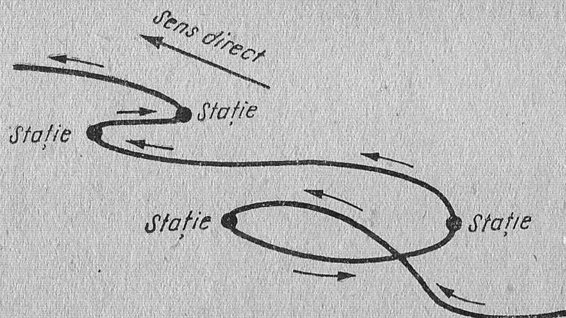


Fig. 1. Traiectoria aparentă a unei planete.

scînteiază, ci au o lumină liniștită. Mișcarea lor aparentă pe bolta cerească a intrigat observatorii cerului din timpurile străvechi, deoarece ele se deplasează pe bolta cerească pe drumuri foarte complicate (fig. 1). Grecii le-au denumit „planete" — adică rătăcitori, denumire ce o păstrează și astăzi.

Pînă la sfîrșitul secolului al XVIII-lea, oamenii observau pe bolta cerească mișcarea enigmatică a 5 planete, și anume: Mercur, Venus, Marte, Jupiter și Saturn. Dorința de a explica această mișcare a dus la dezvoltarea astronomiei, mecanicii și matematicii, omenirea căutînd să rezolve întrebările pe care i le punea natura.

Și astfel, întrebarea „De ce rătăcesc planetele printre aștri?" a condus la o astronomie modernă, la descoperiri științifice spectaculoase care au completat imaginea omului despre lume.

Omul, atît de deosebit de tot restul naturii, atunci cînd a căutat pentru prima oară să generalizeze cunoștințele sale despre lumea înconjurătoare și să-și făurească o concepție despre univers, și-a făcut o imagine în care ființa centrală a fost el, iar lumii

populate de el i-a acordat poziția centrală *(geocentrism)*. Considerînd Pămîntul fix, situat în centrul universului, explicarea mișcării complicate a planetelor a fost foarte anevoioasă.

Au fost emise fel de fel de teorii pentru a pune de acord mișcarea observată a planetelor în ipoteza Pămîntului ca centru al lumii. Astfel grecii, matematizînd astronomia, dau cîteva teorii geocentrice ale mișcării planetelor, printre care teoria sferelor homocentrice; aceasta presupunea Pămîntul în centrul unei sfere a stelelor „fixe", sferă ce se rotește în jurul lui cu perioada de rotație de o zi. Celelalte corpuri erau imaginate pe alte sfere concentrice interioare, rotindu-se în jurul altor axe de rotație, cu alte perioade, alese convenabil pentru a putea aproxima mișcarea aparentă a planetelor.

Apollonios din Perga (262—180 î.e.n.) emite teoria epiciclurilor. O planetă se mișcă conform acestei teorii pe un cerc mic, numit epiciclu, al cărui centru se mișcă pe un cerc mare, numit deferent (fig. 2). Pămîntul ocupă centrul deferentului.

Hiparh (cca 190—125 î.e.n.) și apoi Claudiu Ptolemeu (cca 90—168 e.n.) matematizează teoria geocentrică dîndu-i o interpretare mai firească, prin așezarea Pămîntului nu în centrul deferentului, ci puțin distanțat de acesta.

Teoria lui Ptolemeu a stăpînit gîndirea astronomică aproape un mileniu și jumătate, pentru că satisfăcea precizia observațiilor de atunci. Dar, acumulîndu-se un material observațional mai mare și mai precis, tablou universului dat de schema lui Ptolemeu a devenit atît de complicat și de aproximativ, încît și numai aceste dificultăți l-ar fi putut infirma. Autorii teoriilor care puneau Soarele în centrul mișcării *(heliocentrism)* considerau observațiile ca reflectînd mișcările relative ale corpurilor cerești în

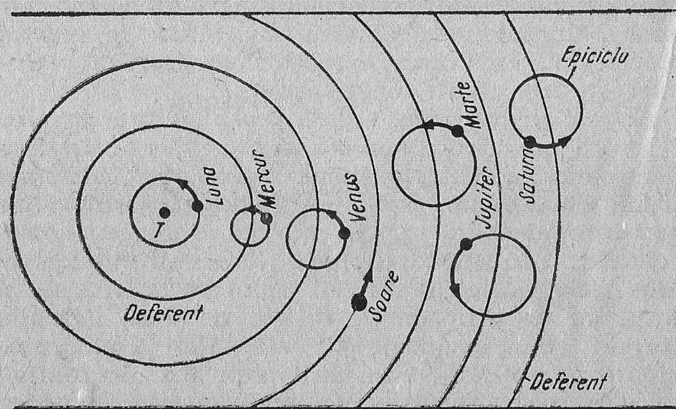


Fig. 2. Sistemul geocentric, perfecționat apoi de Ptolemeu.

totalitatea lor. Ei argumentează că rotunzimea Pămîntului și izolarea lui în spațiu îl fac similar celorlalte corpuri cerești și, prin analogie, este și el mobil.

Aristarh din Samos (310—230 î.e.n.) afirmă că Soarele este corpul imobil situat în centrul lumii, iar planetele, printre care și Pămîntul, se mișcă în jurul lui. Aristarh introduce și ideea mișcării diurne de rotație a Pămîntului în jurul axei sale. Deci, în sec. 3 î.e.n., el a putut intui o teorie care a fost argumentată și impusă peste 17—18 secole! Raționamentele lui Aristarh nu au ajuns pînă la noi, Arhimede, Plutarh și alții redîndu-ne numai concluziile sale. Ipoteza lui Aristarh a fost condamnată și dată uitării, fiind considerată plină de impietate.

Nicolaus Copernic (1473—1543) este acela care readuce în discuție ipoteza heliocentrică, susținînd că planetele împreună cu Pămîntul se mișcă pe cercuri în jurul Soarelui, care nu se află exact în centrul acestora. Copernic susține că mișcările aștrilor pe cer sînt aparente, rezultat al mișcării Pămîntului. El arată matematic cît de simplu pune această ipoteză de acord teoria mișcării planetelor cu observațiile. Totuși, el menține mișcarea planetelor ca făcîndu-se pe epicicluri. Dar precizia observațiilor existente atunci era insuficientă, astfel că astronomii, neavînd argumente definitive, se împart în două tabere, pro și contra teoriei heliocentrice.

Importanța teoriei lui Copernic este uriașă pentru evoluția științei; ea a produs o adevărată revoluție nu numai în astronomie, ci și în concepția generală despre lume. Problema pusă de explicarea mișcării planetelor a preocupat mințile oamenilor timp de milenii. Pînă la Copernic, s-a susținut că Pămîntul trebuie să se găsească în centrul lumii și iată, acum, el era pus în rînd cu alți aștri asemănători, care se mișcă prin spațiul infinit. Această nouă concepție a revoluționat mecanica din momentul în care nu a mai fost prezentată drept un simplu artificiu geometric menit să ușureze calculul mișcărilor planetare.

Astronomul Tycho Brahe (1546—1601), adept al teoriei geocentrice, însă un neîntrecut observator al cerului în timpul său, pentru a demonstra superioritatea teoriei sale, în esență geocentrică, adună un important material observațional, din care o mare parte este legat de mișcarea planetei Marte. Precizia măsurătorilor sale este de neînchipuit pentru vremurile acelea, erorile observațiilor sale rămînînd sub 2—3′! Dar Tycho Brahe moare înainte de a folosi observațiile sale pentru fundamentarea matematică a teoriei geocentrice și își lasă toate rezultatele discipolului său, Johannes Kepler (1571—1630). Acesta încearcă să folosească datele observaționale asupra lui Marte pentru a îmbunătăți teoria geocentrică, dar ajunge la discordanțe mari. Faptul

îl determină să renunţe la teoria geocentrică şi să adopte teoria heliocentrică. Adoptînd această teorie, el reuşeşte să calculeze cu precizie orbita Pămîntului şi a lui Marte şi după ani de studiu să enunţe celebrele sale legi care au revoluţionat întreaga astronomie:

1) orbitele descrise de planete în jurul Soarelui nu sînt circulare ci eliptice, Soarele ocupînd unul din focarele acestor elipse;

2) ariile descrise de raza vectoare Soare-planetă în acelaşi interval de timp sînt egale;

3) raportul dintre cuburile axelor mari ale orbitelor planetare şi pătratele perioadelor de revoluţie în jurul Soarelui păstrează o valoare constantă pentru toate planetele. Expresia matematică a acestei legi este

$$\frac{a^3}{T^2} = \text{constant},$$

a fiind semiaxa mare a orbitei, şi *T* perioada de revoluţie a planetei.

Dacă sistematizarea heliocentrismului a fost realizată de Kepler, opera lui Galileo Galilei (1564—1642) a fost aceea care a impus sistemul heliocentric. Prin concepţia sa nouă despre inerţie, după care un corp nu poate, fără intervenţia unei forţe, să-şi încetinească mişcarea, tot aşa cum nu poate ieşi de la sine din repaus, Galilei distrugea argumentul principal al geocentriştilor. Acest argument era că un corp ridicat deasupra Pămîntului nu ar cădea în acelaşi loc, dacă Pămîntul se roteşte; deci, Pămîntul nu se roteşte. Galilei arată prin legea inerţiei că un corp îşi păstrează starea de mişcare în care fusese antrenat cînd era pe Pămînt.

Dealtfel, cu Galilei începe epoca observaţiilor mai exacte, el însuşi fiind constructorul unei lunete cu ajutorul căreia a descoperit formele de relief ale

Lunii, a reuşit să discearnă stelele din Calea Lactee, a pus în evidenţă rotaţia celor 4 sateliţi ai lui Jupiter în jurul acestuia, a descoperit inelele lui Saturn şi petele solare! Între materia de pe Pămînt şi cea din alţi aştri începea să nu se mai facă nici o deosebire — era un pas important spre edificarea concepţiei despre unitatea materiei în univers.

Din cele relatate, rezultă că planetele se rotesc în jurul Soarelui pe orbite eliptice, conform legilor lui Kepler, iar Pămîntul este şi el o planetă a cărei mişcare nu se deosebeşte cu nimic de mişcarea celorlalte planete. Concepţia mişcării pe elipse a constituit încă o abatere de la tradiţie, care considera mişcările circulare ca o imagine a perfecţiunii.

Planetele au o mişcare de *rotaţie* în jurul unei axe proprii numită axă de rotaţie şi, de asemenea, o mişcare în jurul Soarelui, numită mişcare de *revoluţie*.

Din antichitate erau aşadar cunoscute planetele Mercur, Venus, Marte, Jupiter şi Saturn; în 1781 William Herschel (1732—1822) descoperă planeta Uranus, în 1846 Le Verrier planeta Neptun, iar în 1930 este descoperită şi planeta Pluto, evenimente asupra cărora vom reveni.

Poziţia orbitei Pămîntului faţă de Soare împarte planetele în două categorii: planetele *interioare* sau *inferioare* (Mercur şi Venus), ale căror orbite sînt interioare orbitei terestre, şi planetele *exterioare* sau *superioare* (Marte, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun şi Pluto), ale căror orbite sînt exterioare celei terestre.

Proiecţiile pe bolta cerească ale traiectoriilor planetelor în jurul Soarelui, datorită compunerii cu mişcarea Pămîntului, fac ca mişcarea lor în raport cu stelele să prezinte zig-zaguri şi bucle sau noduri, aparent planetele mişcîndu-se cînd în sens direct, cînd în

sens retrograd; la schimbarea sensului ele prezintă puncte de staționare, unde par că rămîn aproape imobile un anumit timp — stații (vezi fig. 1). Explicația acestor mișcări aparente este dată de legile lui Kepler.

Să vedem care sînt configurațiile pe care le pot prezenta planetele în mișcarea lor în raport cu Pămîntul și Soarele (fig. 3).

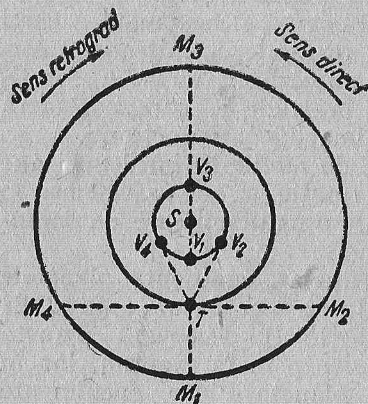


Fig. 3. Configurația planetelor.

Fie T poziția Pămîntului pe orbita sa în jurul Soarelui S, V o planetă interioară și M o planetă exterioară. Dacă planeta V se află în punctul V_1 sau V_3, adică pe aceeași dreaptă cu Pămîntul și Soarele, această poziție este denumită conjuncție: în V_1 planeta este în *conjuncție inferioară* cu Soarele iar în V_3 în *conjuncție superioară*. Planetele interioare se văd întotdeauna pe cer în apropierea Soarelui; în punctele V_2 și V_4, aflate pe tangentele duse de la Pămînt la orbita planetei, ele se văd la un unghi maxim față de Soare, pozițiile respective purtînd numele de *elongații* maxime, vestică și estică. La

conjuncția inferioară, o planetă interioară este la distanța cea mai mică de Pămînt, iar la conjuncția superioară la distanța cea mai mare.

Elongațiile planetelor interioare ar fi egale ca mărime dacă planetele respective ar avea orbite circulare; acesta este aproximativ cazul planetei Venus, a cărei elongație maximă este de 48° (vezi și fig. 6). Deci planeta Venus este văzută pe cer întotdeauna în apropierea Soarelui, fie ca Luceafăr de dimineață, fie ca Luceafăr de seară, direcția Pămînt-Venus putînd atinge față de direcția Pămînt-Soare un unghi maxim de 48°.

Planeta Mercur are orbita ceva mai turtită, valoarea extremă a elongației variind între 18 și 29°, după cum planeta se află la *periheliu* (punctul de pe orbită cel mai apropiat de Soare) sau la *afeliu* (punctul de pe orbită cel mai depărtat de Soare). Planeta Mercur se află întotdeauna pe cer în apropierea Soarelui și nu poate fi văzută decît la elongație maximă, în lumina slabă a crepusculului.

O planetă exterioară poate fi în linie dreaptă cu Pămîntul și Soarele în M_1 și M_3. Poziția M_3 poartă numele de *conjuncție*, iar M_1 de *opoziție*, planeta fiind în direcție opusă Soarelui la acest moment. Pozițiile M_2 și M_4 poartă numele de *cuadraturi*.

Natura sensului mișcărilor aparente, cînd direct cînd retrograd, devine clară dacă se compară viteza de mișcare unghiulară orbitală a planetelor cu cea a Pămîntului.

Din fig. 4 reiese că, dacă o planetă exterioară se apropie de conjuncție, viteza ei este dirijată în sens opus vitezei Pămîntului, iar pe cer o vedem deplasîndu-se în *sens direct* — sensul ei real — cu o viteză unghiulară rezultată din compunerea vitezei Pămîntului, luată cu sens contrar, cu viteza planetei. Deci, în preajma conjuncției cu Soarele viteza planetei

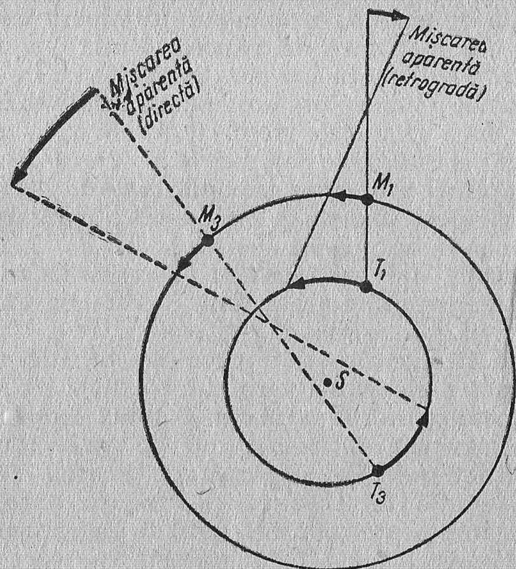


Fig. 4. Mişcarea directă şi retrogradă a unei planete exterioare.

pe cer este mare. În apropierea opoziţiei, vitezele planetei şi Pămîntului au acelaşi sens, dar viteza unghiulară a Pămîntului este mai mare şi, din această cauză, planeta se mişcă pe cer în *sens retrograd*, cu o viteză mică (egală cu diferenţa celor două viteze unghiulare).

În mod analog (fig. 5) se explică de ce planetele interioare se mişcă în apropierea conjuncţiei inferioare (V_1) în sens retrograd, iar în apropierea conjuncţiei superioare (V_3) în sens direct.

Rămîne să lămurim două noţiuni des întîlnite în problemele de mişcare a planetelor : revoluţia sinodică şi revoluţia siderală. Se numeşte perioadă S a *revoluţiei sinodice* a unei planete intervalul de timp cuprins

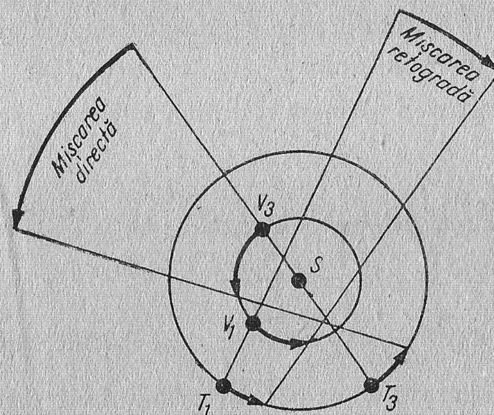


Fig. 5. Mişcarea directă şi retrogradă a unei planete interioare.

între două configuraţii de acelaşi fel consecutive, de exemplu între două conjuncţii superioare pentru planetele interioare sau între două opoziţii pentru cele exterioare. Datorită faptului că orbitele planetelor nu sînt circulare şi, conform legii a doua a lui Kepler, planetele nu au viteze constante pe orbită, duratele revoluţiilor sinodice nu sînt riguros egale, ci variază în jurul unei valori medii.

Perioada T a *revoluţiei siderale* este intervalul de timp necesar ca o planetă să-şi parcurgă în întregime orbita în jurul Soarelui.

Perioada de revoluţie siderală a Pămîntului poartă numele de an sideral $T_{♁}$ şi are valoarea de 365 zile, 6 ore, 9 minute şi 10 secunde.

Aceste perioade sînt legate între ele, deoarece mişcarea unghiulară a unei planete într-o zi este de $\frac{360°}{T}$; a Pămîntului este deci $\frac{360°}{T_{♁}}$. Pe de altă parte, diferenţa dintre deplasarea unghiulară zilnică a pla-

netei şi a Pămîntului este deplasarea unghiulară aparentă a planetei, adică $\frac{360°}{S}$. De aici, faţă de Pămînt, pentru o planetă interioară putem scrie:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{♁}},$$

iar pentru o planetă exterioară:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{♁}} - \frac{1}{T}.$$

Aceste relaţii poartă numele de ecuaţiile revoluţiei sinodice.

Din observaţii nu se pot determina decît perioadele de revoluţie sinodice ale planetelor şi de revoluţie siderală a Pămîntului, perioadele de revoluţie siderală ale planetelor determinîndu-se, de la caz la caz, cu ajutorul relaţiilor de mai sus.

În tabelul 1 de la sfîrşitul acestui capitol sînt date perioadele de revoluţie siderală şi de revoluţie sinodică ale planetelor.

În mişcarea lor în jurul Soarelui, planetele pot avea diverse poziţii faţă de Soare şi Pămînt, prezentînd astfel faze, ca şi Luna. O planetă interioară, de exemplu Venus, poate fi în poziţia V_3 (fig. 6), adică în conjuncţie superioară; atunci de pe Pămînt s-ar vedea exact jumătatea planetei bătută de razele Soarelui, sub forma unui disc luminos circular. În poziţia V_1, adică în conjuncţie inferioară, de pe Pămînt se vede partea planetei ce nu primeşte lumină de la Soare, deci planeta nu este vizibilă, ca imediat după aceasta să fie văzută ca un corn subţire, iar la cea mai mare elongaţie, în V_2 şi V_4, să o putem vedea sub forma unei jumătăţi de disc. Îndreptînd primul telescop spre cer, Galileo Galilei a descoperit fazele planetei Venus şi i-a observat variaţia dia-

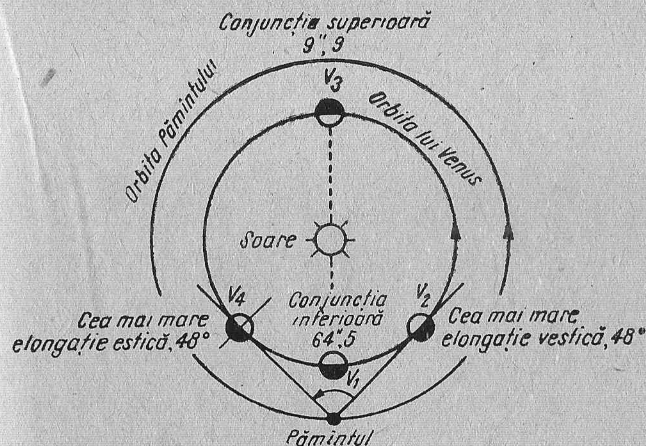


Fig. 6. Orbita şi fazele planetei Venus (planetă interioară).

metrului aparent — de la 64",5, cînd aceasta este în poziţia cea mai apropiată de Pămînt, pînă la 9",9 în poziţia cea mai depărtată —, fapt care a constituit încă o dovadă că Soarele este în centrul sistemului nostru planetar. Unghiul pe care îl face direcţia planetă-Soare cu direcţia planetă-Pămînt poartă numele de unghi de fază.

O planetă exterioară, de exemplu Marte, nu prezintă toate fazele unei planete interioare, poziţia de conjuncţie inferioară fiind imposibilă. Urmărind fig. 7 se poate observa că în poziţia de conjuncţie şi opoziţie planeta îndreaptă spre Pămînt jumătatea luminată de Soare, deci în lunetă ne va apărea ca un disc, iar apoi discul se ştirbeşte, în poziţia de cuadratură putînd fi observată cea mai mică fază a planetei exterioare. Pentru planeta Marte, la cuadratură o porţiune de 26% din disc este întunecată, în timp

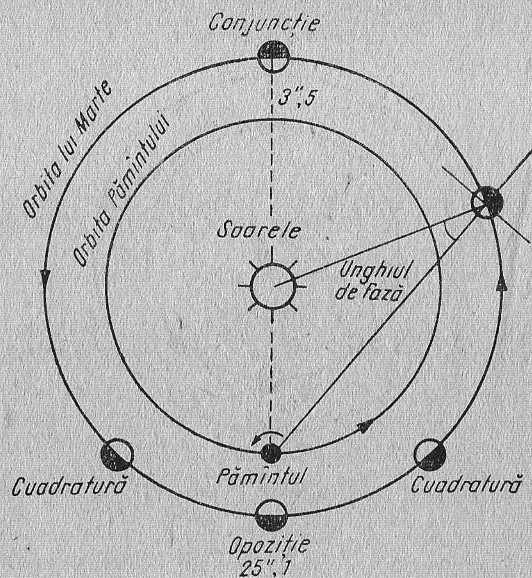


Fig. 7. Orbita și fazele planetei Marte (planetă exterioară).

ce planeta Jupiter are la cuadratură numai o porțiune de 7% din disc întunecată. Celelalte planete exterioare practic nu prezintă fenomenul de fază, distanța lor față de Soare fiind foarte mare, în comparație cu distanța Pămînt-Soare (vezi fig. 10). Astfel, observatorul terestru le vede cu discul complet luminat, ca și cum le-ar observa din Soare, dimensiunile orbitei Pămîntului fiind mici față de cele ale orbitelor planetelor exterioare de dincolo de Jupiter. În tabelul 1 se prezintă datele orbitale ale planetelor.

Tabelul 1

Date orbitale ale planetelor sistemului solar

Planeta	*Semiaxa mare (în unități astronomice) (1900)*	*Distanța medie de Soare (în milioane de kilometri)*	*Revoluția siderală*	*Revoluția sinodică (în zile)*	*Viteza pe orbită (km/s)*	*Perioada rotației în jurul axei proprii*	*Excentricitatea orbitei (1900)*	*Inclinarea ecuatorului pe orbită*	*Inclinarea orbitei pe ecliptică (1900)*
Mercur	0,387	57,9	87,97d	115,88	47,9	58d17h	0,206	0°	7°00'
Venus	0,723	108,2	224,70d	583,92	35	243d	0,007	2°7'	3°24'
Pămînt	1,000	149,6	365,256d	—	29,8	23h56min	0,017	23°27'	0°00'
Marte	1,524	228,0	1a321,73d	779,94	24,1	24h37min	0,093	24°	1°51'
Jupiter	5,204	778,5	11a314,84d	398,88	13,1	9h55min	0,048	3°4'	1°18'
Saturn	9,580	1433	29a167d	378,09	9,6	10h14min	0,056	26°44'	2°29'
Uranus	19,141	2864	84a 7d	369,66	6,8	10h42min	0,047	97°57'	0°46'
Neptun	30,198	4518	164a280d	367,49	5,4	15h48min	0,009	29°	1°46'
Pluto	39,439	5900	247a249d	366,74	4,7	6d 9h	0,250	?	17°09'

2. VICTORIILE MECANICII CEREȘTI

Isaac Newton (1642—1727) este cel care a enunțat trei principii fundamentale ale mișcării corpurilor.

Primul principiu precizează descoperirea lui Galilei a legii de inerție: dacă m este masa unui corp și $\mathbf{v}$ viteza sa, produsul acestora (denumit impuls) este constant. Dacă $\mathbf{v} = 0$, corpul este în repaus, iar dacă $\mathbf{v}$ este constant și diferit de zero corpul se deplasează uniform, urmînd o traiectorie rectilinie. Schimbarea impulsului corpului nu se poate produce decît sub acțiunea unei forțe.

Al doilea principiu stabilește că variația impulsului este proporțională cu forța aplicată corpului și se produce în sensul acțiunii acesteia:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(m\mathbf{v}) = \mathbf{F},$$

de unde, scriind accelerația $\frac{\mathrm{d}\mathbf{v}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{a}$, obținem $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, ecuație care exprimă principiul fundamental al dinamicii unui punct material.

Al treilea principiu arată că o acțiune a unui corp asupra altuia provoacă o reacție egală și de sens opus.

Copernic și, în special, Kepler puseseră temeliile unui nou mod de gîndire în astronomie. Mișcarea

corpurilor cerești trebuia să se facă pe baza unor legi. Kepler a fost urmărit de ideea că Soarele mișcă planetele, dar se punea în continuare întrebarea de ce natură este forța care acționează asupra acestora. Newton formulează *legea atracției universale* care, în secolele ce au urmat, a fost considerată drept „cea mai înaltă producție a minții omenești".

Legea atracției universale afirmă că două puncte materiale A și B de mase m și m', situate la distanța r unul de altul, exercită unul asupra celuilalt o forță de atracție direct proporțională cu produsul maselor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele, adică

$$F = k\frac{mm'}{r^2},$$

unde k este constanta gravitației.

Studiind mișcarea relativă a unui corp în jurul altuia, în particular în jurul Soarelui, se găsește că traiectoria urmată de corp va fi o elipsă, o parabolă sau o hiperbolă, după cum viteza lui este mai mică, egală sau mai mare decît mărimea $\sqrt{2km/r}$. Această ultimă relație deschide posibilitatea generalizării orbitelor corpurilor care se mișcă sub influența unei forțe centrale; dacă elipsele sînt orbitele planetelor, ale sateliților acestora, ale unor comete și asteroizi, în schimb pentru alte comete, cu viteze mai mari, mișcarea se face pe orbite parabolice sau hiperbolice. De exemplu, pentru a scăpa de sub influența atracției terestre, viteza unei nave cosmice trebuie să depășească valoarea de 11,2 km/s.

Toate aplicațiile particulare ale mecanicii cerești se bazează pe legea generală a atracției universale. Astfel, accelerațiile pe care le capătă două corpuri ce se atrag sînt invers proporționale cu masele lor. Forța F transmite masei m_1 o accelerație de mărime

$a_1 = k\frac{m_2}{r^2}$, conform legii atracţiei universale şi principiului al doilea al mecanicii. Din relaţia similară pentru a_2, găsim:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Luna are o masă de 81 de ori mai mică decît a Pămîntului, deci acceleraţia pe care o imprimă ea acestuia este de tot atîtea ori mai mică decît aceea pe care Pămîntul o imprimă Lunii.

Apoi, acceleraţia relativă a două corpuri care se atrag este egală cu diferenţa acceleraţiilor şi, deoarece acestea sînt îndreptate în sens contrar, ea este proporţională cu suma maselor:

$$a_r = k\frac{m_1 + m_2}{r^2};$$

deci, lucrurile se întîmplă ca şi cum masa celor două corpuri ar fi concentrată în centrul lor de masă.

De asemenea, dacă există un al treilea corp de masă m, egal depărtat de două corpuri, acestea sînt atrase respectiv cu forţele:

$$F_1 = k\frac{mm_1}{r_2} \text{ şi } F_2 = k\frac{mm_2}{r^2};$$

deoarece $F_1 = m_1a_1$ şi $F_2 = m_2a_2$, ele capătă aceleaşi acceleraţii: $a_1 = a_2 = k\frac{m}{r^2}$.

Astfel, Soarele atrage Pămîntul cu o forţă mai mare decît cea cu care atrage Luna, dar cînd Pămîntul şi Luna sînt la aceeaşi distanţă de Soare, acesta le imprimă acceleraţii de mărimi egale în sistemul considerat fix al acestora.

O întrebare poate surveni aici. Dacă judecăm lucrurile din punctul de vedere al Lunii, ea este atrasă

mai puternic de Soare decît de Pămînt. Din calculul forţelor de atracţie reiese că forţa exercitată de Soare asupra Lunii este de peste 2 ori mai mare ca forţa exercitată de Pămînt asupra Lunii, deoarece masa Soarelui compensează efectul diferenţei de distanţă. De ce nu cade atunci Luna spre Soare? Aceasta nu se întîmplă pentru că Soarele nu atrage spre el numai Luna, ci atrage de fapt centrul de masă al sistemului format de Pămînt şi Lună, ca şi cum acestea ar constitui un singur corp. Forţa de atracţie a Soarelui transformă mişcarea rectilinie, pe care ar fi avut-o planetele datorită vitezei lor iniţiale, în mişcare curbilinie. În cazul corpurilor sferice şi cu densitate uniformă, atracţia se produce ca şi cum masele lor ar fi concentrate în centrele de masă; calculul poziţiei centrului de masă Pămînt-Lună se face considerînd că raportul maselor celor două corpuri este invers proporţional cu distanţele acestuia faţă de centrele lor. Astfel, centrul de masă al sistemului Pămînt-Lună se află în interiorul Pămîntului (masa Pămîntului fiind mult mai mare), la o distanţă de centrul acestuia puţin mai mare de două treimi din raza sa.

Tot Newton a arătat că greutatea corpurilor este identică cu atracţia terestră şi a făcut-o cu ajutorul mişcării Lunii. Putem considera în general că o planetă este permanent deviată din drumul ei rectiliniu de către Soare şi silită să meargă pe o linie curbă, rezultantă. Ca atare, Newton a privit mişcarea Lunii în jurul Pămîntului ca pe o neîntreruptă cădere a Lunii către Pămînt. Întrucît toate corpurile la suprafaţa Pămîntului capătă în cădere liberă, sub acţiunea gravitaţiei, o acceleraţie $g = 981$ cm/s², fapt cunoscut din lucrările lui Galilei, această valoare trebuia regăsită şi din expresia dedusă pe baza ideii că Luna „cade" spre Pămînt. În cazul încetării atracţiei pămînteşti,

Luna ar pleca în spațiu după o linie dreaptă; ea însă se mișcă pe o orbită practic circulară, avînd o accelerație centripetă $a = \omega^2 r$, unde $\omega = \frac{2\pi}{T}$ este viteza unghiulară, T perioada revoluției siderale a Lunii (27,3 zile) și r distanța Lună-Pămînt. Dacă raza R a Pămîntului poate fi luată de cca 60 de ori mai mică decît r, trebuie să avem $a = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 60\ R$. Luna este atrasă cu forța $\mathbf{F} = m_L \mathbf{a}$, unde m_L este masa ei; din legea atracției universale, $F = kM\frac{m_L}{r^2}$, M fiind masa Pămîntului, de unde $kM = ar^2$. Dacă Luna ar fi la suprafața Pămîntului, ea ar fi atrasă cu o forță de valoare $F = m_L g = kM\frac{m_L}{R^2}$, de unde $kM = gR^2$. Din cele două egalități rezultă:

$$\frac{a}{g} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{1}{60^2},$$

de unde $g = \frac{4\pi^2}{T^2} 60^3 R \approx 980$ cm/s², verificîndu-se astfel legea atracției universale.

Raza Pămîntului nu era bine cunoscută în vremea lui Newton și au trebuit să treacă ani mulți pînă cînd formula atracției universale s-a verificat exact. Totuși, Newton s-a bazat pe raționamentul prezentat mai sus pentru a trage concluzia asupra identității greutății unui corp cu atracția ce se manifestă asupra acestuia. Masa Pămîntului a fost măsurată tocmai pe baza acestei identități. Ulterior, masa planetei noastre a fost „cîntărită" cu ajutorul unei balanțe special concepute, cu care s-a demonstrat și justețea formulei atracției universale.

Legea atracției universale a oferit astronomiei instrumentul cu ajutorul căruia s-au dedus masele corpurilor cerești pe baza observării mișcărilor acestora.

Pe suprafața Pămîntului, greutatea este rezultanta a două forțe: cea de atracție, dirijată spre centrul Pămîntului, și cea centrifugă, perpendiculară pe axa de rotație a planetei. De aceea, la poli, unde Pămîntul este mai turtit, forța de atracție este mai mare ca la ecuator; pe de altă parte, la ecuator forța centrifugă este mai mare ca la poli, deci accelerația greutății terestre este mai mică.

Atracția posedă proprietăți care o deosebesc radical de alte forțe, cum ar fi cele electrice și magnetice, prin faptul că ea acționează la orice distanță, indiferent de obstacole, depinde de poziția reciprocă a corpurilor și este independentă de starea fizico-chimică a corpurilor, fiind dictată numai de masa acestora.

A treia lege a lui Kepler, pentru mișcarea circulară, de exemplu, se demonstrează în felul următor. Accelerația fiind în acest caz $a = \omega^2 r$, se mai poate scrie, după cum știm $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$. Accelerația relativă fiind exprimată, așa cum am arătat mai înainte, prin suma maselor, considerînd corpul central de masă M fix, accelerația pe orbită a corpului de masă m este chiar accelerația relativă, adică avem

$$a = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = k\frac{(M + m)}{r^2},$$

de unde

$$\frac{r^3}{T^2 (M + m)} = \frac{k}{4\pi^2} = \text{constant}.$$

În cazul mișcării pe elipsă, în loc de r intervine semiaxa mare a elipsei și este ușor de văzut că, pentru

două planete avînd semiaxele mari a_1 și a_2, cu perioadele de revoluție T_1 și T_2, neglijînd însă masele planetelor față de masa Soarelui, putem obține cea de-a treia lege a lui Kepler

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \text{constant}$$

(unde prin a_1 și a_2 am notat semiaxele mari ale elipselor și nu accelerații).

Dacă ridicăm la cub valorile ce reprezintă semiaxele mari (în unități astronomice) ale orbitelor primelor patru planete (vezi tabelul 1) și le raportăm la valorile pătratelor perioadelor de revoluție (în zile, de exemplu), vom obține aceeași valoare, așa cum a verificat la vremea lui J. Kepler cea de-a treia lege a mișcării planetelor. Trebuie să reamintim că legea gravitației a fost stabilită la început pornind de la legile lui Kepler; Newton a făcut și operația inversă, pornind de la legea atracției universale, și a dedus legile lui Kepler.

Să adăugăm aici cîteva mici comentarii. În primul rînd, elipsele pe care se mișcă planetele sînt foarte slab turtite astfel că, dacă le-am vedea desenate, nu am putea să le deosebim de cercuri. În continuare, să definim *excentricitatea* elipsei ca raportul $e = \frac{c}{a}$ unde a reprezintă semiaxa mare a elipsei iar c distanța dintre Soare și centrul elipsei; în același timp, datorită proprietăților elipsei, dat fiind faptul că suma distanțelor din orice punct de pe elipsă la cele două focare este constantă (și egală cu $2a$), excentricitatea elipsei va fi, conform teoremei lui Pitagora, $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$, unde b este semiaxa mică. Turtirea orbitei terestre poate fi calculată aproximativ din creșterea și micșorarea dimensiunii discului solar între momentele de maximă apropiere — la *periheliu* — și respectiv maximă depărtare — la *afeliu* — a Pămîntului de Soare. Atunci cînd Pămîntul este la distanța minimă de Soare (1 ianuarie), discul acestuia prezintă mărimea unghiulară maximă: 32′32″; la afeliu, discul Soarelui are diametrul minim (1 iulie), cu mărimea unghiulară de 31′28″. Din proporționalitatea

$$\frac{31'28''}{32'32''} = \frac{a - c}{a + c}$$

și, folosind proprietățile rapoartelor, găsim

$$e = \frac{c}{a} = 0{,}017.$$

Deci, distanța poziției Soarelui față de centrul elipsei nu variază nici cu 2% din semiaxa mare a acesteia, iar raportul b/a este egal cu 0,998. După cum reiese din tabelul 1, numai planetele Mercur și Pluto au excentricități mai mari, dar turtirea nu ar fi ușor observabilă pentru ochiul care ar privi elipsele respective (reduse la scară). Kepler, care a studiat mișcarea planetei Marte, a fost avantajat de faptul că aceasta are o orbită eliptică mai pronunțată, cu e apropiat de o zecime dintr-un întreg.

Atracția exercitată de Lună și Soare asupra Pămîntului determină o deformare periodică a lui, fenomen ce poartă numele de *maree*. Să descriem pe scurt acest fenomen.

Mareea se manifestă îndeosebi ca o creștere și scădere periodică a nivelului oceanelor. Fluxul, sau ridicarea apei la țărm pînă la o anumită înălțime, se produce la intervale de aproximativ 12 ore și 25 de minute și durează 6 ore și 13 minute, iar refluxul, adică retragerea sau scăderea apei, urmează timp de 6 ore și 13 minute, după care începe iar fluxul

și așa mai departe. Fenomenul este legat de poziția Lunii pe cer, deoarece fazele sale se repetă aproximativ în aceeași ordine, în intervalul dintre două treceri ale Lunii la meridianul locului.

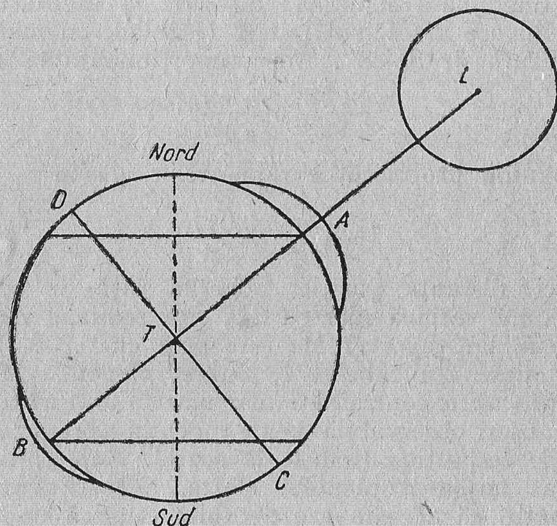


Fig. 8. Mecanismul mareelor lunare.

Dacă am considera întreg Pămîntul acoperit de apă, am putea să înțelegem mai ușor mecanismul mareelor (fig. 8). Cercul mare *CD* este perpendicular pe direcția Pămînt-Lună și împarte Pămîntul în două emisfere. Este de la sine înțeles că emisfera *DAC* dinspre Lună este mai puternic atrasă de aceasta și cea mai mare bombare a suprafeței apelor se va produce în punctul *A*, care este cel mai apropiat de Lună. În această emisferă, acțiunea atracției terestre

se opune atît forței de atracție a Lunii, cît și forței centrifuge, care se datorește rotației Pămîntului în jurul axei sale. În emisfera opusă, *DBC*, atracția Lunii acționează în același sens cu atracția terestră și contrar forței centrifuge ce are tendința să ridice apele cel mai mult în punctul *B*, acesta fiind cel mai îndepărtat de Lună. De aceea se produce o umflare a apelor, dar de o mai mică amploare, și în acest punct. Fluxul se va produce în *A* și *B*, iar refluxul în *C* și *D*. Cum Pămîntul se rotește în jurul axei sale de la apus spre răsărit, ridicarea apelor se va produce de-a lungul paralelelor terestre ale punctelor *A* și *B*, iar acest fenomen va înainta de la răsărit spre apus.

Ceea ce am exprimat pînă acum prin cuvinte, se poate calcula chiar cu ajutorul legii atracției universale. Rezultanta accelerațiilor imprimate de către Lună particulelor care compun Pămîntul este aplicată, după cum știm, în centrul acestuia, *T*, și are valoarea $a_T = k\frac{m_L}{r^2}$, iar accelerațiile în punctele *A* și *B* sînt, respectiv, $a_A = k\frac{m_L}{(r-R)^2}$ și $a_B = k\frac{m_L}{(r+R)^2}$, unde r este distanța între centrele celor două corpuri cerești, m_L masa Lunii și R raza Pămîntului.

Accelerația relativă față de centrul Pămîntului, în *A*, este egală cu diferența $a_A - a_T = km_L\frac{2Rr - R^2}{(r-R)^2r^2}$, expresie în care, dacă neglijăm mărimea razei Pămîntului față de distanța Pămînt-Lună, putem lăsa deoparte pe R^2 de la numărător și pe R de la numitor din diferența $r-R$. Diferența accelerațiilor devine atunci $km_L\frac{2R}{r^3}$. Dacă împărțim această accelerație produsă de Lună la cea produsă de Soare, $kM_\odot\frac{2R}{d^3}$, unde

$M_\odot$ este masa Soarelui și d distanța Soare-Pămînt, găsim $\frac{m_L}{M_\odot}\frac{d^3}{r^3} \approx 2{,}2$.

Fiindcă Pămîntul nu este egal acoperit de ape, modificările în producerea mareelor sînt datorate întinderii, adîncimii și inerției apelor. Totuși, cei mai importanți factori care determină complexitatea mareelor sînt legați de înseși corpurile cerești care le produc. Astfel, Soarele produce o maree de 2,2 ori mai mică decît Luna, iar pozițiile relative ale Soarelui și Lunii pot întări sau micșora efectul mareic. Se produc maree maxime cînd Luna și Soarele sînt pe aceeași direcție, adică la conjuncție (Lună nouă) sau la opoziție (Lună plină), mareea luni-solară fiind de 1,5 ori mai mare decît cea lunară. Amplitudinea mareei este minimă cînd direcțiile celor doi aștri față de Pămînt formează un unghi de 90°. Depărtarea joacă și ea un rol apreciabil: cînd Luna este la perigeu (maxima apropiere de Pămînt, datorată excentricitătii orbitei sale), mareele vor fi mai mari. Din aceste cauze, Luna induce ridicări ale apelor de (36 ± 6) cm, iar Soarele de (16 ± 1) cm, ceea ce, cînd influențele celor două corpuri se însumează poate duce la ridicări ale apei în largul oceanelor de maximum 60 cm. Creșterea nivelului apelor la țărmuri este foarte diferită, după cum este și conformația acestora. În Marea Neagră mareea nu trece de cîțiva centimetri. Bineînțeles că Pămîntul produce asupra Lunii efecte mareice mult mai puternice.

Atracția luni-solară produce și asupra atmosferei terestre, ca și asupra uscatului, efecte mareice care se traduc în ușoare variații ale presiunii atmosferice și, respectiv, în oscilații ale scoarței terestre cu 10—30 cm. Efectul de frecare mareică provocat de oceane produce chiar o încetinire a duratei de rotație a Pămîntului, care, cu ajutorul orologiilor moderne

cu cuarț și atomice, a fost estimată la 1—2 milisecunde pe secol.

Să trecem acum la prezentarea altor cuceriri ale astronomiei din decursul timpului. Dacă luăm ca unitate de distanță depărtarea dintre Soare și Pămînt, denumită și *unitate astronomică* (149,6 mil. km), valorile din tabelul 1 privind planetele pot fi comparate cu cele găsite de J.E. Bode (1778) și, anterior, de J.D. Titius (1772) și C. Wolf (cu încă treizeci de ani înainte de Titius), pe baza regulii următoare. Să formăm un șir începînd cu 0,4 și să adăugăm succesiv $0{,}3 \cdot 2^n$, notînd și distanțele reale ale planetelor, în dreptul fiecărui rezultat:

$0{,}4$	$= 0{,}4$	0,39	Mercur
$0{,}4 + 0{,}3$	$= 0{,}7$	0,72	Venus
$0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2$	$= 1{,}0$	1,00	Pămînt
$0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^2$	$= 1{,}6$	1,52	Marte
$0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^3$	$= 2{,}8$	2,80	Asteroizi
$0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^4$	$= 5{,}2$	5,20	Jupiter
$0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^5$	$= 10{,}0$	9,58	Saturn
$0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^6$	$= 19{,}6$	19,14	Uranus
$0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^7$	$= 38{,}8$	30,20	Neptun
$0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^8$	$= 77{,}2$	39,44	Pluto

Corespondența cu distanțele adevărate este evidentă.

Această lege stranie a determinat pe mulți astronomi să caute planeta lipsă corespunzînd distanței 2,8 și au găsit acolo asteroizii sau mici planete, după cum vom vedea la capitolul respectiv. Adams și Le Verrier, înaintea descoperirii lui Neptun, aveau și ei motive să caute o planetă la distanța dată de șirul Titius-Bode. Dar să examinăm cu atenție care este valoarea acestei „legi". În ceea ce privește Mercur, avem de-a face cu alegerea intenționată a distanței inițiale: 0,4 unități astronomice. În legătură cu Venus, coincidența este de asemenea rezultatul unei

potriviri, prin valoarea 0,3. De asemenea, nici coincidența cu distanța Pămîntului nu este semnificativă, deoarece și factorul 2 din șir este ales anume. Primul succes al șirului este însă distanța lui Marte, întrucît toate numerele care intră în construirea șirului fuseseră alese anterior. Asteroizii Ceres și Pallas s-au descoperit într-adevăr la distanța 2,8, dar există și asteroizi situați la alte distanțe. Jupiter, Saturn și Uranus constituie succese perfecte pentru legea Titius-Bode. În schimb, distanțele pentru Neptun și Pluto nu corespund cîtuși de puțin cu realitatea.

Regularitățile constatate nu pot fi totuși absolut întîmplătoare. În ciuda unor nepotriviri, șirul de mai sus reflectă poate o lege de formare a planetelor din nebuloasa inițială protosolară.

Așa cum știm, planetele Uranus, Neptun și Pluto nu erau cunoscute celor antici și nici lui Copernic. Prima dintre acestea, Uranus, denumită astfel mai tîrziu de astronomul Bode, a fost descoperită în 1781 de W. Herschel, care a observat cu ajutorul telescopului un obiect rătăcitor pe cer ce nu rămînea în aceeași poziție față de stele. Din faptul că mișcarea acestui obiect luminos era cam de trei ori mai înceată decît aceea a lui Saturn, pe baza legii a treia a lui Kepler s-a dedus că valoarea semiaxei mari a orbitei lui trebuia să fie aproximativ de două ori mai mare ca a lui Saturn, dacă era vorba de o planetă. Dealtfel, obiectul era văzut nu ca un punct luminos, sclipind cu întreruperi ca o stea, ci ca un disc (de 3 secunde de arc în diametru) lucind cu o lumină constantă, așa cum se văd planetele. Sclipirea intermitentă (scintilația) nu este o proprietate a stelelor, ci este cauzată de mișcarea straturilor atmosferei terestre. Planetele, fiind mult mai aproape, se văd ca niște mici discuri, iar sclipirile date de punctele de pe suprafața lor se anulează, dînd o strălucire constantă.

Matematicianul A. Leksel din Petersburg a contribuit la identificarea planetei Uranus. Din distanța mare și mișcarea ei lentă, Herschel și-a dat seama că noua planetă este o planetă de dimensiuni mari.

Dar Uranus n-a făcut o revoluție completă în jurul Soarelui și s-a și observat că orbita lui prezintă unele mici deviații care nu se pot explica prin influența lui Jupiter și Saturn. Mai exista încă o planetă, care să fie responsabilă de aceste abateri? Doi matematicieni, un francez, U.J.J. Le Verrier, și un englez, J. C. Adams, au calculat, independent unul de altul, posibilitatea de a găsi planeta necunoscută. De fapt, problema dificilă de a stabili poziția corpului perturbator a fost rezolvată cu un an mai devreme de Adams, care însă nu a obținut la timp posibilitatea ca Observatorul de la Greenwich să procedeze la observațiile necesare. În schimb Le Verrier s-a adresat în septembrie 1846 astronomului J.G. Galle din Berlin, care, după cîteva ore de observații, a găsit pe cer planeta prevăzută! Descoperirea lui Neptun, al cărei merit principal revine astfel lui Le Verrier, a constituit un adevărat triumf al mecanicii cerești, prin care se reușise reprezentarea traiectoriei aparente pe cer a unui astru bănuit a exista. A fost o adevărată luptă... în întuneric, pe care Engels a caracterizat-o ca pe o „victorie în vîrful condeiului". Este de menționat faptul că momentul în care s-a petrecut observarea cerului soldată cu descoperirea lui Neptun a fost foarte favorabil, întrucît, în alte epoci, șansa de a găsi planeta ar fi fost mai mică; se știe că distanța presupusă a lui Neptun fusese luată din șirul Titius-Bode, care în acest caz era eronată (39 unități astronomice, în loc de distanța adevărată, de 30 unități astronomice).

Descoperirea ultimei planete, Pluto, a fost o repetare a succesului obținut înainte cu Neptun. Orbita

lui Neptun suferea de asemenea perturbații, care dădeau de bănuit că există încă o influență gravitațională a unui corp din sistemul solar. Un astronom american, C. Tombaugh, a descoperit în 1930, în urma unei adevărate „vînători fotografice", noua planetă. Remarcăm că descoperirea celui mai îndepărtat obiect vizibil al sistemului solar a fost și mai mult rezultatul unei șanse, dată fiind atît micimea cît și strălucirea foarte slabă a planetei Pluto.

Mai există vreo planetă dincolo de Pluto? Iată o întrebare care, deși îndreptățită, are un răspuns probabil negativ.

Mișcările celor nouă planete sînt astăzi bine cunoscute, dar fără îndoială că progresele recente făcute în acest domeniu, în era zborurilor cosmice, au precizat multe detalii și chiar au adus științei date importante, pe care le vom înfățișa pe măsura descrierii planetelor și a celorlalte obiecte ale sistemului solar.

Există probleme privind mișcarea corpurilor sistemului solar care pot primi astăzi răspunsuri exacte prin utilizarea calculatoarelor electronice. De exemplu, în ultima vreme specialiștii au discutat dacă există posibilitatea ca planetele să ajungă la un moment dat dispuse în linie dreaptă și chiar s-a vorbit că, în 1982, cele nouă planete ale sistemului solar „vor fi așezate după o linie, de aceeași parte a Soarelui, ca o escadrilă cerească la o paradă astrală". Această presupusă conjuncție din 1982 ar aduce chipurile după sine o serie de întîmplări neplăcute: o creștere apreciabilă a activității magnetice a Soarelui, cu erupții solare care ar duce la o schimbare a aspectului vremii și, prin efectul de maree, se vor produce cutremure de Pămînt.

În primul rînd se pune problema dacă planetele pot ajunge să fie într-adevăr aliniate. După cum

știm (tabelul 1, ultima coloană) planele orbitelor planetelor sînt foarte apropiate între ele, excepție făcînd numai Mercur și Pluto, înclinarea lor față de *planul eclipticii* (planul orbitei terestre) fiind de 7° și, respectiv, de 17°,1. În ceea ce privește celelalte planete, înclinarea planului orbitei lor pe planul eclipticii nu depășește 3°24′ (Venus). Revoluția planetelor se face în sens direct, cînd sistemul solar este privit dinspre polul nord al eclipticii. Știm, de asemenea, că mărimea perioadei sinodice este invers proporțională cu diferența vitezelor unghiulare mijlocii ale mișcării orbitale a planetelor. Valorile mijlocii ale perioadelor sinodice variază în limite foarte largi, de la o pereche de planete la alta: 88 de zile pentru perechea Mercur-Pluto, pînă la 484 ani pentru perechea Neptun-Pluto.

Din examinarea mișcării tuturor planetelor, reiese că alinierea lor este o configurație practic imposibilă și ea nu s-a produs în toată existența sistemului solar (bineînțeles, în ipoteza că mișcările planetelor nu s-au schimbat apreciabil în miliardele de ani de existență ale acestuia). Problema se pune cel mult în sensul apropierii planetelor într-un unghi solid (dacă o considerăm în spațiu) sau într-un unghi cu vîrful în Soare (dacă privim planetele proiectate pe planul eclipticii) (fig. 9). Într-adevăr, datorită vitezelor lor unghiulare diferite, planetele se pot găsi la un moment dat într-un sector sferic a cărui deschidere în direcție normală pe planul eclipticii nu depășește 24°,1 (suma înclinărilor orbitelor lui Mercur și Pluto față de ecliptică), dar unghiul de apropiere în planul eclipticii poate varia mult. În 1982, planetele exterioare se vor apropia, astfel că se vor afla într-un unghi de 70° (măsurat în planul eclipticii).

Planetele din grupa Pămîntului nu se vor găsi însă în același timp în acest sector.

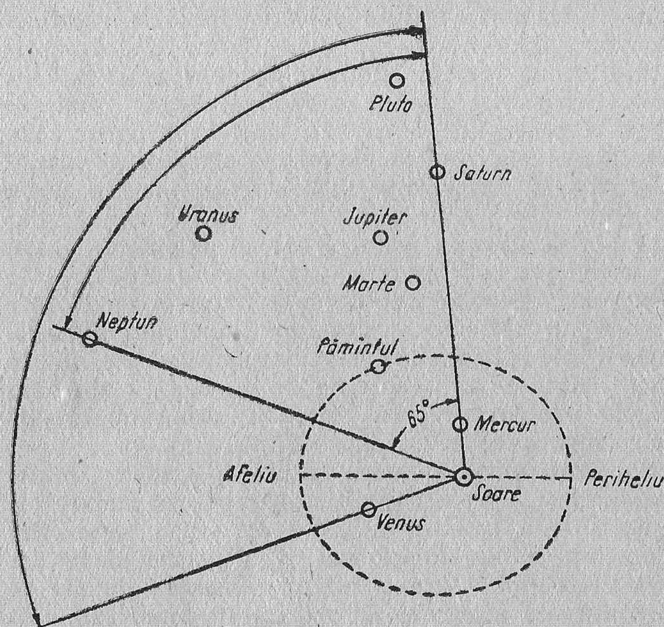


Fig. 9. Configurația planetelor în anul 1982: planetele nu vor fi „aliniate", dar Marte, Jupiter și Saturn se vor vedea pe cer cam în aceeași direcție.

Astfel, în loc de coliniaritate, în 1982 vom avea de-a face cu o apropiere unghiulară: toate planetele se vor afla într-un sector unghiular de 105°, ceea ce înseamnă totuși o dispersare destul de mare a acestora.

O altă precizare care trebuie făcută este aceea că activitatea solară nu este influențată de mareele planetelor asupra Soarelui. Chiar dacă toate planetele s-ar așeza în linie cu acesta, „fluxul" pe Soare ar fi de $(1{,}36 \pm 0{,}21)$ mm. Diametrul Soarelui fiind de

110 ori mai mare ca diametrul Pămîntului, fluxul pe Soare este de 40 000 de ori mai mic decît cel de pe Pămînt. Spre interiorul Soarelui, efectul mareelor este mult mai mic și valoarea fluxului ajunge la 0,1 mm în zona de la jumătatea razei solare. Dat fiind că în ultima vreme au fost descoperite pulsații ale Soarelui cu perioada de 2 ore și 40 minute, care duc la o variație a diametrului solar de 10 km, este evident că pe fondul unor variații atît de mari efectul mareelor cauzate de planete este cu totul neglijabil. De asemenea, mareea exercitată de planete asupra Pămîntului este nesemnificativă. Venus determină, de exemplu, o maree care nu depășește 0,002 cm. De aceea nu se poate vorbi nici de cutremure de Pămînt provocate de efectul direct al mareei planetelor, ceea ce o dovedesc numeroase statistici efectuate pe sute de ani.

Încă din mijlocul veacului trecut, s-a cercetat dacă frecvența cutremurelor pe Pămînt poate depinde în special de mareele lunare. Legătura între maree și seismicitate a fost studiată de specialiști, cu rezultate nu îndeajuns de concludente deoarece activitatea seismică se datorează, cu precădere, proceselor geologice de scară uriașă ce au loc în straturile superioare ale mantalei terestre.

În concluzie, efectul mareic produs de cele nouă planete asupra Soarelui în luna mai 1982 va fi de două ori mai mic decît cel maxim posibil, menționat mai înainte, și anume de 0,5 mm, pentru că Mercur, Venus, Pămîntul și Jupiter vor fi atunci departe de periheliul lor. Fără să mai menționăm faptul că cele mai influente planete prin distanța sau masa lor, Venus și Jupiter, se vor găsi atunci aproape în unghi drept iar efectul lor mareic practic se va anula. Pe de altă parte, specialiștii nu au remarcat nici o legătură între cutremurele puternice și activitatea

solară și nici vreo influență bine definită a activității solare asupra troposferei și, deci, asupra fenomenelor meteorologice de pe Pămînt, în stare să influențeze rotația acestuia.

Mai rămîne să adăugăm că apropierea (și nu alinierea) planetelor nu este un fenomen neobișnuit: el s-a produs în anii 1805 și 1845 și se va întîmpla din nou în 1982 și 2357. „Apropierile" planetelor din secolul trecut nu au avut nici un fel de urmări asupra Pămîntului, deoarece nu configurațiile planetare determină fenomenele geofizice.

Să desprindem, în încheierea acestui capitol, cîteva proprietăți fundamentale ale sistemului solar, de care trebuie să țină seama orice teorie ce-și propune să explice aspectele de bază ale acestuia:

1. Orbitele planetelor sînt aproape circulare (elipse foarte puțin turtite).

2. Orbitele planetelor se găsesc practic în același plan.

3. Sensul mișcării de revoluție a planetelor este același pentru toate, anume cel direct, și același cu sensul de rotație a Soarelui.

4. Razele orbitale r_n ale planetelor cresc aproximativ în progresie geometrică $r_n = r_0 f^n$, unde r_0 este distanța de la Pămînt la Soare (unitatea astronomică), n este egal cu zero pentru Pămînt, iar $f \approx 1{,}85$ (legea lui Bode).

5. La rîndul lor, majoritatea sateliților planetelor se mișcă pe orbite de excentricitate mică, în apropierea planelor ecuatoriale ale planetelor respective. După cum se va arăta, chiar și înclinările acestor plane ecuatoriale față de ecliptică sînt în general mici (vezi tabelul 4).

6. Rotația planetelor și a sateliților lor în jurul axelor proprii se efectuează de cele mai multe ori în sens direct, iar excepțiile se produc spre extremitățile sistemului solar (Venus, Pluto și unii sateliți).

7. Planetele din grupa Pămîntului au rotația înceată în jurul axei lor și posedă sateliți puțini; planetele gigante au o rotație relativ rapidă și mulți sateliți.

8. Masa solară reprezintă 99,87% din masa totală a sistemului solar, dar Soarele nu posedă decît 0,54% din momentul cinetic total al sistemului. Valoarea momentului cinetic este dată de produsul rmv, unde r este raza vectoare dusă din centrul Soarelui la o planetă, m masa acesteia și v viteza ei orbitală. Momentul cinetic al unui sistem în care acționează o forță centrală este constant, ceea ce exprimă într-un alt mod legea a doua a lui Kepler. Faptul că planetele gigante, îndeosebi Jupiter și Saturn, au un moment cinetic mare față de Soare se poate calcula cu ajutorul datelor din tabelul 1.

Proprietățile generale enumerate mai sus furnizează elementele prin care ne putem reprezenta vizual în spațiu, ca într-un planetariu, mișcarea sistemului solar. El nu poate fi redat printr-un desen pe o foaie de hîrtie, chiar dacă am admite că mișcarea planetelor are loc într-un singur plan. Obișnuitele comparații dimensionale ce se fac de obicei sînt destinate doar imaginației noastre. Dacă Pămîntul ar avea, de exemplu, diametrul de 1 mm, Luna ar avea diametrul de puțin peste un sfert de milimetru și ar fi situată la 3 cm de Pămînt. Soarele, o minge de 10 cm, ar fi așezat la 10 m distanță. La 16 m distanță de Soare, s-ar roti Marte cu diametrul de o jumătate de milimetru. Jupiter este cît o nucă, la 52 m de Soare, cu sateliții mai mari de o jumătate de milimetru fiecare și rotindu-se la 3, 4, 7 și 12 cm de această nucă și cu cel mai îndepărtat satelit la peste 2 m. Spațiile goale din sistemul solar cresc din ce în ce

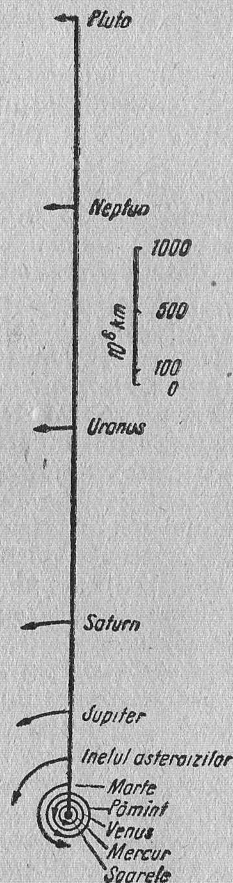


Fig. 10. Distanțele în sistemul solar.

mai mult între planete pînă la Pluto, care ar fi de o jumătate de milimetru, plasat la 400 m de mingea care întruchipează Soarele. Ne mărginim să prezentăm, pe de o parte, o schemă a distanțelor (fig. 10) și, pe de alta, mai tîrziu, o reprezentare a dimensiunilor planetelor din sistemul solar (vezi fig. 21), atunci cînd vom discuta despre proprietățile lor fizice și despre modul în care s-au format.

Sistemul solar nu este însă format numai din Soare, planete și sateliții acestora. El mai cuprinde asteroizi, comete, meteoriți, praf și gaz interplanetar, fluxuri de particule, cîmpuri magnetice — toate acestea constituind imaginea lui complexă. După ce am devenit mai familiarizați cu legile de mișcare ale corpurilor din sistemul solar în general, să trecem acum la descrierea obiectelor care-l compun.

3. PĂMÎNTUL

Pămîntul este a treia planetă în ordinea distanței de Soare, planeta care poartă viață, și prima care s-a oferit cunoașterii umane, fiind timp de milenii obiectul de studiu a generații și generații ; de aceea, ne vom opri întîi asupra lui.

Faptul că Pămîntul este rotund a fost cunoscut din momentul în care prima corabie primitivă s-a desprins de țărm și a plecat departe în larg, acolo unde orizontul nu mai este desenat de conturul reliefului, al pădurilor sau al construcțiilor omenești. Apropiindu-se de un țărm muntos și observînd că întîi se văd vîrfurile munților, apoi munții și abia de la o distanță mai mică se vede țărmul în întregime, oamenii și-au dat seama că sfericitatea Pămîntului îi împiedică să vadă de la început tot relieful țărmului. Și astfel s-a născut și s-a confirmat ideea că Pămîntul este rotund, idee veche de milenii.

Este Pămîntul sferic, dar care este raza lui ? — iată o întrebare care frămînta mințile oamenilor. Spiritul de observație, ingeniozitatea și perseverența în a observa cerul au dat răspuns și acestei întrebări. Încă în anul 240 î.e.n., Eratostene (aprox. 275—195 î.e.n.) a observat că, la 22 iunie, epoca solstițiului de vară, în momentul cînd Soarele trecea la meri-

dianul localității Syene (astăzi Assuan) din Egipt, razele Soarelui luminau apele puțurilor celor mai adînci, iar obiectele nu aveau nici o umbră. Aceasta înseamnă că Soarele era chiar la zenit cînd trecea la meridianul acestei localități. În același moment, în Alexandria, oraș situat mai la nord, cam pe același meridian cu Syene, Eratostene a măsurat cu ajutorul unui gnomon unghiul pe care îl făcea Soarele cu verticala locului, găsind valoarea 7°12'. Acest unghi reprezenta tocmai diferența de latitudine a celor două localități, care se aflau la distanța de 5 000 stadii; de aici, el a dedus că întreg meridianul are 250 000 de stadii (adică 40 500 km). Valoarea pe care o admitem astăzi este de 40 008 km! Și, printr-un calcul foarte simplu, Eratostene a găsit pentru raza Pămîntului valoarea 6 348 km. Evident, precizia măsurătorilor lui Eratostene și ingeniozitatea lor au fost determinate și de unele condiții locale. Cerul veșnic senin al Egiptului antic îndemna la o urmărire mai atentă a fenomenelor astronomice, Soarele arzător, aproape niciodată ascuns de nori, dădea contur tuturor obiectelor, umbre ce contrastau puternic cu fondul luminat al solului; de aceea, era ușor de observat că într-o anume localitate la amiază templele nu aveau umbre. Drumul de la Syene la Alexandria parcurge o cîmpie fără denivelări; de aceea, asimilarea lui cu un arc de meridian nu a introdus practic nici o eroare.

Dar Pămîntul nu este perfect sferic; datorită mișcării sale de rotație, este ușor turtit la poli și bombat în zona ecuatorului. Forma lui poartă numele de *geoid* (suprafață ce coincide cu suprafața medie a oceanelor) și este aproximată printr-un elipsoid de revoluție în jurul axei sale mici. Dacă a este axa mare a acestui elipsoid și b axa mică, raportul $\frac{a-b}{a} = c$

poartă numele de *turtirea Pămîntului* și are valoarea 1/298.

Deși foarte mică, turtirea Pămîntului are multe consecințe, printre care faptul că punctele situate pe suprafața lui nu se găsesc la aceeași distanță de centru, cele de la pol fiind mai apropiate de acesta decît cele de pe ecuator și, ca urmare, valoarea accelerației gravitaționale scade de la poli spre ecuator. În tabelul 2 sînt redate dimensiunile și alte mărimi ce caracterizează Pămîntul ca planetă.

Tabelul 2

Mărimi caracteristice ale Pămîntului

Turtirea Pămîntului	$\frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,24}$
a (semiaxa mare a globului terestru)	= 6378,160 km
b (semiaxa mică a globului terestru)	= 6356,774 km
Suprafața:	$5,11 \cdot 10^8$ km²
Suprafața uscatului:	$1,48 \cdot 10^8$ km²(28,7%)
Suprafața mărilor:	$3,63 \cdot 10^8$ km²(71,3%)
Suprafața acoperită de nori:	~50%
Volumul:	$1,0832 \cdot 10^{12}$ km³
Circumferința ecuatorială:	40075,24 km
Masa:	$5,975 \cdot 10^{24}$ kg
Densitatea medie:	5,517 g/cm³
Accelerația greutății la ecuator:	$9,78\,032$ m $\cdot$ s^{-2}
Viteza de rotație ecuatorială:	0,465 km/s

Pămîntul are o mișcare de rotație în jurul axei sale, în același timp deplasîndu-se în jurul Soarelui pe o elipsă foarte puțin turtită, ce poate fi asimilată cu un cerc. După cum știm, mișcarea în jurul Soarelui poartă numele de mișcare de revoluție, iar planul în care se face se numește planul eclipticii. Axa de rotație a Pămîntului este înclinată față de planul eclipticii, făcînd cu normala acestui plan un unghi de 23°27'; în timpul mișcării de revoluție axa de

rotație rămîne paralelă cu ea însăși, executînd o mișcare de translație.

Deplasîndu-se împreună cu Pămîntul, observatorul terestru se mișcă în spațiu și observă o serie de fenomene care rezultă din această mișcare, similar călătorului din tren căruia i se pare că stîlpii de telegraf aleargă înapoi. Astfel, mișcarea aparentă a Soarelui printre stele, observată din cele mai vechi timpuri, a constituit o problemă fundamentală a astronomiei, fiindcă între ea și schimbările anuale de temperatură s-a observat o corelație; de aceea, putem spune că întreaga viață a societății umane era reglementată după mișcarea Soarelui. Așadar, încă de foarte timpuriu, omul și-a dat seama că, pe lîngă mișcarea diurnă a tuturor corpurilor cerești de la răsărit la apus, la care iau parte toți aștrii, Soarele se deplasează lent de la apus spre răsărit, trecînd printre stele. Milenii de observații astronomice atente au dus la determinarea cu precizie a acestei mișcări aparente.

Cercul descris de Soare pe sfera cerească în acest drum aparent al său definește chiar *ecliptica*, care trece prin centrul unui brîu al sferei cerești denumit *zodiac*, iar cele 12 constelații pe care le străbate au primit numele de *constelații zodiacale*.

După cum am menționat în capitolul 2, înclinarea orbitelor celorlalte planete față de ecliptică este mică, așa că mersul aparent al planetelor pe cer se face tot în limitele zodiacului. Dar să nu insistăm prea mult asupra mișcărilor aparente ale aștrilor datorate mișcării Pămîntului, ci să ne întoarcem la aceasta și la consecințele ei.

Din cauza marii depărtări, razele Soarelui vin aproape paralel și luminează jumătate din glob. După cum se vede din fig. 11, linia de separație dintre lumină și umbră nu trece prin polii Pămîntului

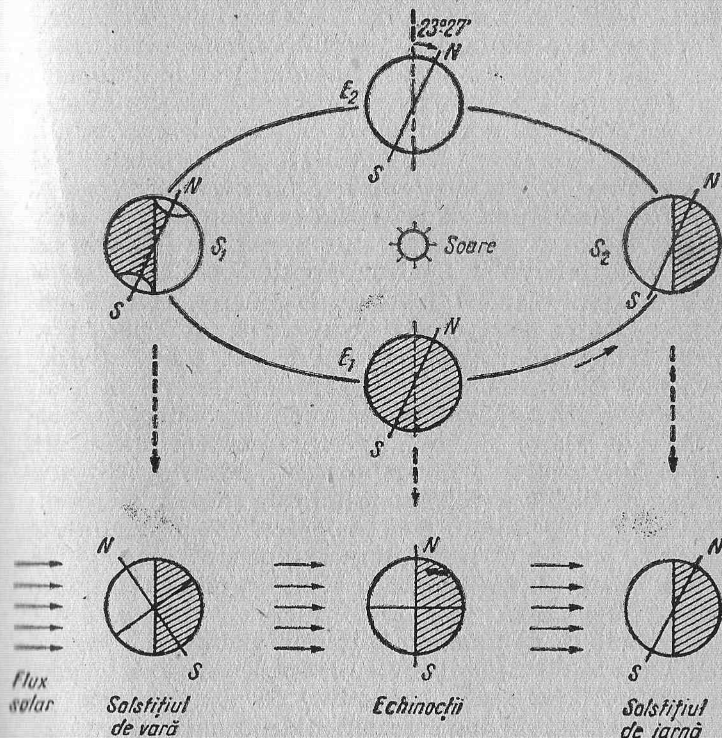


Fig. 11. Succesiunea anotimpurilor pe Pămînt. Axa de rotație N—S este înclinată mereu față de normala pe ecliptică cu același unghi și este paralelă cu ea însăși.

decît în E_1 și E_2, puncte ce corespund unor momente numite *echinocții*, în care se realizează egalitatea duratei zilei cu a nopții. În S_1 și S_2, momente numite *solstiții*, Soarele luminează și încălzește inegal cele două emisfere; de aceea, pentru S_1 este vară în emisfera nordică și iarnă în cea sudică, iar pentru S_2 este

iarnă în emisfera nordică și vară în cea sudică. Deși învățăm încă din școala generală despre anotimpuri, este bine să insistăm asupra faptului că ele se datorează exclusiv înclinării axei de rotație a Pămîntului față de ecliptică și translației ei în timpul mișcării de revoluție. Dacă axa Pămîntului ar fi perpendiculară pe planul orbitei nu am avea anotimpuri, pentru că razele solare ar cădea permanent cu aceeași înclinare, ce ar depinde numai de paralelele geografice, iar zilele ar fi veșnic egale cu nopțile (ceea ce se întîmplă în cazul planetei Jupiter). Înclinarea axei Pămîntului face ca vara razele Soarelui să cadă pe suprafața Pămîntului sub un unghi mai mare (iarna, unghiul fiind mai mic), asigurîndu-se astfel în emisfera nordică o cantitate mai mare de căldură în unitatea de timp. De asemenea, vremea se încălzește în emisfera nordică în timpul verii, deoarece extremitatea nordică a axei Pămîntului este atunci îndreptată mai mult spre Soare și zilele devin mai lungi decît nopțile, crescînd astfel durata încălzirii planetei de către Soare. Se înțelege că în emisfera sudică lucrurile se petrec invers.

Trebuie să ne gîndim că, în mod paradoxal, pentru emisfera nordică, din cauza excentricității foarte mici a orbitei Pămîntului, acesta trece mai aproape de Soare tocmai în luna ianuarie; înseamnă că atunci primim o cantitate de căldură cu 6% mai mare decît cea venită de la Soare în luna iulie, cînd Pămîntul se află la distanța maximă de Soare. Pentru emisfera nordică aceasta atenuează asprimea iernilor și căldura mare a verilor; fenomenul are loc și în emisfera sudică, datorită raportului mare al suprafețelor acoperite de oceane față de suprafața uscatului. Dacă orbita Pămîntului ar fi mult mai turtită, atunci, potrivit celei de a treia legi a lui Kepler, s-ar simți efectul mișcării mai rapide pe orbită cînd planeta este mai

aproape de focarul în care se găsește Soarele. În acest caz, pentru cele două emisfere, anotimpurile ar diferi ca durată și climă.

În concluzie, mișcarea Pămîntului în jurul Soarelui, înclinarea axei sale față de planul orbitei și faptul că această înclinare se păstrează în timpul mișcării de revoluție determină inegalitatea zilelor și nopților și succesiunea regulată a anotimpurilor, deci a ciclurilor biologice pe planeta noastră. De aceea, perioada în care se face această mișcare a stat la baza măsurării timpului și la alcătuirea calendarelor.

Călătorul de pe un vapor are impresia că stă pe loc și că obiectele de pe țărm se deplasează: cu cît ele sînt mai apropiate deplasarea apare mai mare, cele foarte depărtate avînd deplasări foarte mici. Astronomii au presupus că, în mod analog, un observator de pe Pămîntul în mișcare ar trebui să vadă o deplasare a stelelor, și anume stelele ar trebui să descrie pe cer o elipsă, numită *elipsă de paralaxă*, în timp de un an, în jurul unei poziții mijlocii; astfel, cu cît steaua este mai depărtată, elipsa descrisă este mai mică. Aceasta ar fi fost una dintre cele mai concludente dovezi ale mișcării Pămîntului în jurul Soarelui. Au urmat secole de căutări și de perfecționări ale aparatelor, care în anii 1835–1840 au fost încununate de succes. Primele deplasări unghiulare de acest fel ale stelelor au fost măsurate și, făcîndu-se un raport între distanța cunoscută Pămînt-Soare și dimensiunile (unghiulare ale) micii elipse de paralaxă, s-au determinat cu precizie primele distanțe la stele. Dificultatea măsurării *paralaxelor anuale* ale stelelor — unghiuri sub care se observă raza orbitei terestre din stelele respective — se datorește depărtării lor; astfel, cea mai apropiată stea, Proxima Centauri, are o paralaxă de 0″,762, adică în timp de un an descrie o elipsă cu semiaxa mare egală cu 0″,762! Abia după ce

s-au făcut primele măsurători de acest fel omul şi-a putut crea o imagine mai precisă asupra distanţelor din univers, de exemplu distanţa pînă la cea mai apropiată stea fiind de 41 000 000 000 000 de km!

Cu aproximativ un secol înaintea măsurării primelor paralaxe stelare, un astronom englez, James Bradley, căutînd să găsească o paralaxă stelară, descoperă în 1728 fenomenul de *aberaţie anuală a luminii*, care constă în faptul că observatorul terestru nu vede o stea în direcţia ei, ci în direcţia rezultată din compunerea vitezei luminii provenită de la stea cu viteza de deplasare a Pămîntului în jurul Soarelui. Descoperirea fenomenului de aberaţie a demonstrat încă odată heliocentrismul mişcărilor planetare.

Am enumerat în cuprinsul capitolului unele consecinţe ale faptului că Pămîntul nu este sferic, ci bombat la ecuator şi turtit la poli. Cînd se studiază mişcarea Pămîntului în jurul Soarelui sub acţiunea forţei de atracţie a acestuia, în primă aproximaţie se consideră Pămîntul sferic. Dacă este considerată forma reală a Pămîntului, se vede că, datorită atracţiei Lunii şi Soarelui, acesta este supus unui cuplu de forţe care tinde să-i imprime, ca unui titirez uriaş, o nouă rotaţie. Datorită acestui fapt, axa lui de rotaţie — axa polilor — prezintă o mişcare de rotaţie în jurul normalei la planul eclipticii, cu perioada de 26 000 ani. Consecinţa acestei rotaţii este faptul că proiecţia polilor pe bolta cerească se schimbă în timp. Dacă acum nordul este marcat de steaua cea mai strălucitoare din Carul mic (α Ursae Minoris), care din această cauză poartă numele de Steaua Polară, peste 12 000 de ani steaua Vega va juca rolul de stea polară, în jurul ei rotindu-se aparent toată bolta cerească (fig. 12). Acest fenomen a fost descoperit de către Hiparh, pe la anul 140 î.e.n., comparînd poziţiile

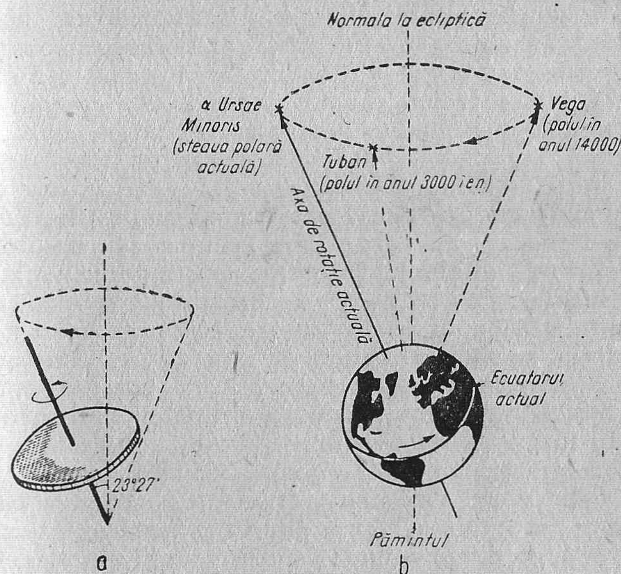


Fig. 12. Mişcarea de precesie a echinocţiilor.

stelelor, determinate de el şi de alţi astronomi greci cu secole în urmă. El a observat că poziţiile stelelor variază în mod constant în timp, ca şi cînd reperul faţă de care se măsoară ele (punctele — echinocţiale — de intersecţie pe bolta cerească ale eclipticii cu proiecţia ecuatorului pămîntesc) s-ar deplasa. De aceea el a numit acest fenomen *precesia echinocţiilor*, nume pe care îl păstrează şi astăzi.

Să ne întoarcem acum la problema măsurării timpului, aceasta fiind dintotdeauna una dintre problemele de bază ale astronomiei practice.

Timpul nu poate fi măsurat direct, ci numai cu ajutorul fenomenelor ce se petrec în el. Astfel, se

poate lua ca unitate de măsură a timpului un interval în care se execută o mişcare periodică, uniformă. Mişcarea de rotaţie a Pămîntului în jurul axei sale a oferit şi a impus practic perioada ei ca unitate de măsură a timpului — ziua —, avînd ca multiplu natural — anul — perioada revoluţiei Pămîntului în jurul Soarelui.

Modul acesta de a măsura timpul, impus de viaţă, este imperfect în primul rînd pentru că cele două mişcări nu sînt absolut uniforme, existînd mici variaţii ale mişcării de rotaţie, pe care astronomia modernă le studiază în amănunt, iar mişcarea de revoluţie, conform legilor lui Kepler, se ştie că nu este uniformă. De asemenea, fenomenul de precesie complică şi el problema măsurării timpului. Mai menţionăm faptul că relaţia dintre unitatea zi şi multiplul ei imperfect anul este: 1 an = 365,2422 zile.

După ce am examinat consecinţele generale care decurg din situaţia Pămîntului ca planetă a sistemului solar, să considerăm şi aspecte proprii ale planetei noastre. Cunoscînd raza Pămîntului, aflăm volumul său, iar determinîndu-i masa, prin experimentele bazate pe legea atracţiei universale, deducem densitatea medie a planetei noastre (5,52 g/cm^3). Dar, cum se ştie că scoarţa Pămîntului este mai uşoară (cu densitatea în jur de 3 g/cm^3), înseamnă că nucleul său este mai dens. Scoarţa are elementele chimice dominante: oxigen 46,6%, siliciu 27,7%, aluminiu 8,1%, fier 5% şi hidrogen 1%. Hidrosfera, care ocupă o mare parte din suprafaţa Pămîntului (71%), are un alt comportament decît scoarţa chiar în ce priveşte variaţia temperaturii cu adîncimea. Dacă în interiorul scoarţei temperatura creşte un timp cam cu 20 kelvini pe kilometru (în special datorită încălzirii mantalei terestre prin procese de radioactivitate), în schimb apa oceanelor devine tot mai rece în adîncime, la 2 000 metri ajungînd sub 3 °C, temperatura coborînd încet spre 0 °C în adîncuri. Foarte important este faptul că hidrosfera este aceea care absoarbe o mare parte din radiaţia infraroşie a Soarelui, ceea ce ridică astfel temperatura medie a Pămîntului; să nu uităm că planeta noastră este singura din sistemul solar care are o hidrosferă!

Existenţa atmosferei Pămîntului este de asemenea una din condiţiile care au permis apariţia şi dezvoltarea vieţii. Gazele care o compun (azot 78%, oxigen 21%, argon 0,93%, bioxid de carbon 0,03% şi alte gaze, în cantităţi foarte mici) sînt menţinute de forţa de atracţie a Pămîntului. Atmosfera se roteşte solidar cu suprafaţa Pămîntului, dar, la cîteva sute de kilometri înălţime, păturile atmosferice încep să rămînă în urmă faţă de rotaţia Pămîntului. Meteoriţii se aprind în frecarea lor cu aerul la altitudini de 120—150 km, iar aurorele polare se produc prin ionizarea provocată de particule ce vin de la Soare în straturile de la 500 km altitudine. În atmosfera joasă (troposfera, stratul de pînă la 10 km altitudine), temperatura scade pînă la −50 °C; în zonele superioare acesteia (stratosfera, între 10 şi 80 km) temperatura creşte la 0 °C, iar după 60 km altitudine scade la −70 °C. Stratul de ozon se află la 25 km altitudine. Stratul de la 80 km în sus pînă la 500 km se numeşte ionosferă şi conţine molecule ionizate. În straturile şi mai înalte (geocoroana), atomii mai uşori (de hidrogen, de heliu) se pierd în spaţiu, deoarece pot atinge viteza de evaziune de sub influenţa atracţiei terestre. Întreaga masă a atmosferei de-abia atinge o milionime din masa planetei noastre.

Mişcarea de rotaţie a planetei noastre, ce determină succesiunea zilelor şi nopţilor, este factorul precumpănitor în privinţa aspectului climei pe Pămînt.

Sensul mişcării vînturilor este condiţionat de sensul mişcării de rotaţie a planetei. Masele de aer din zonele calde se înalţă şi mase de aer mai rece le iau locul; datorită însă mişcării de rotaţie a Pămîntului ia naştere „forţa lui Coriolis", al cărei efect este de a abate spre dreapta de la direcţia de mişcare, indiferent de sensul acesteia, orice obiect sau fluid ce se deplasează orizontal în emisfera nordică (în emisfera sudică, abaterea fiind spre stînga). Într-adevăr, în emisfera nordică vîntul care bate de la nord spre sud ajunge în zone ce se rotesc mai repede şi, deci, va rămîne în urmă, ajungînd să bată dinspre nord-est spre sud-vest *(alizeele)*; vînturile care bat din sud spre nord ajung în regiuni cu viteză de rotaţie mai mică, deci o vor lua înainte, fiind deviate tot spre dreapta *(contraalizeele)*. Frecarea aerului de sol atenuează această tendinţă.

Mişcarea de rotaţie stă şi la originea formării vînturilor de vest de la latitudinile mijlocii, după cum reiese din calculele ce iau în considerare raporturile dintre forţa de gravitaţie şi forţa centrifugă şi din care rezultă existenţa unei forţe dirijate spre ecuator, producînd în zona subtropicală mărirea densităţii şi presiunii aerului. Acest fenomen produce o forţă de sens opus, care se manifestă prin apariţia de vînturi cu viteze mai mari decît viteza suprafeţei terestre. Mecanismele circulaţiei generale a atmosferei sînt destul de complicate şi compararea cu alte atmosfere planetare (Jupiter, Venus) va duce chiar la elucidarea unor probleme meteorologice ale Pămîntului.

Principalul fapt pe care-l constatăm este că planeta noastră este activă: atmosfera, oceanele, scoarţa şi interiorul au fost şi sînt în mişcare. Viaţa însăşi contribuie la acest proces de neîntreruptă activitate. Istoria Pămîntului este caracterizată printr-un necontenit schimb de materie şi energie, iar înţelegerea

ei este legată de elucidarea modului în care s-a format: pe măsură ce planeta creştea prin captarea de particule din nebuloasa primară, ea se încălzea prin efectul cumulat al contracţiei gravitaţionale, ciocnirii cu meteoriţi şi radioactivităţii uraniului, a toriului şi a unui izotop al potasiului.

Interiorul s-a topit, iar fierul, ca element mai greu, a căzut „la fund", formînd şi astăzi un miez planetar topit, în mare parte lichid. Materialul mai uşor care plutea deasupra a devenit ceea ce denumim astăzi mantaua superioară şi scoarţa, urmînd după aceasta procesul de diferenţiere a rocilor. Nu ne vom extinde în noţiuni de geologie, în descrierea începutului activităţii vulcanice şi a formării munţilor. Gaze şi vapori (bioxid de carbon, metan, apă etc.), au ţîşnit spre suprafaţă în cursul unor formidabile fenomene vulcanice; gazele cele mai uşoare, hidrogenul şi heliul, nu au mai putut fi reţinute de forţa gravitaţiei. Apa s-a condensat, ceea ce înseamnă că temperatura nu era prea ridicată, s-au format oceanele şi a început transportul şi eroziunea materiei terestre prin vînturi, ploi şi apa fluviilor.

Cele mai vechi roci au se pare 3,7 miliarde de ani. Rocile din epoca arhaică au 2,2—2,8 miliarde de ani şi trădează existenţa unei scoarţe litosferice foarte subţiri şi a unui vulcanism generalizat. Multe din mecanismele geologice de astăzi se instalaseră încă de atunci.

Unii specialişti susţin că Pămîntul nu ar fi avut aspectul variat pe care-l prezintă, cu continente şi oceane, dacă într-o anumită epocă (acum 4 miliarde de ani) nu ar fi fost puternic bombardat de meteoriţi uriaşi.

Apariţia algelor bazate pe fotosinteză, la 2 miliarde de ani după epoca „arhaică", a modificat mult aspectul Pămîntului. Primele urme de viaţă datează de

acum 3,4 miliarde de ani. Oxigenul liber nu a existat în atmosfera Pămîntului: el a fost produs de fenomenul vieții. Ecranul de ozon împotriva razelor ultraviolete nu se formase încă și acestea au favorizat, se pare, sinteza unui întreg șir de compuși organici, cum sînt aminoacizii. Apariția vieții însă a constituit un salt important și se pare că, în sistemul solar, ea nu s-a produs decît aici, pe această planetă. Viața a contribuit la formarea de roci, la modificarea aspectului Terrei.

Pentru o vreme de peste 3 miliarde de ani, Pămîntul a fost populat de organisme monocelulare; explozia nevertebratelor s-a produs în decursul a cîtorva sute de milioane de ani, după care au apărut plantele vasculare și vertebratele. Mișcări ale plăcilor tectonice s-a dovedit că aveau loc în paleozoic, eră ce a început acum 600 de milioane de ani. Exista un ocean între masa continentului european-african și cele două Americi, iar spre sfîrșitul erei paleozoice s-a format supercontinentul Pangeea prin reunirea acestora. Mari mutații biologice s-au produs în acea epocă; la începutul erei mezozoice (în triasic) Pangeea s-a desfăcut din nou, apărînd Oceanul Atlantic și producîndu-se mișcarea continentelor pînă la poziția lor actuală.

Teoria care reușește astăzi să explice cele mai multe fenomene geologice este denumită tectonica plăcilor în derivă sau tectonica globală, în care se consideră că scoarța solidă a Pămîntului (continentele și fundul oceanelor) este compusă din plăci solide ce se mișcă unele față de altele. Există 6 plăci importante: eurasiatică, africană, americană, pacifică, indo-australiană și antarctică. Acestea se mișcă din cauză că pătura cea mai exterioară a globului terestru — litosfera, de pînă la 70 km grosime — se compune din plăci ce se deplasează orizontal pe astenosferă, care

se prezintă ca un fluid vîscos ce merge pînă la 600—700 km adîncime. În astenosferă se formează curenți de convecție mari care mișcă plăcile. Părțile ascendente a doi curenți vecini produc o fractură în litosferă (rift), prin care materia topită izbucnește sub formă de vulcani. Pe de altă parte, marginile opuse ale plăcilor sînt împinse și coboară în astenosferă unde se retopesc, în zone de scufundare (care la limita

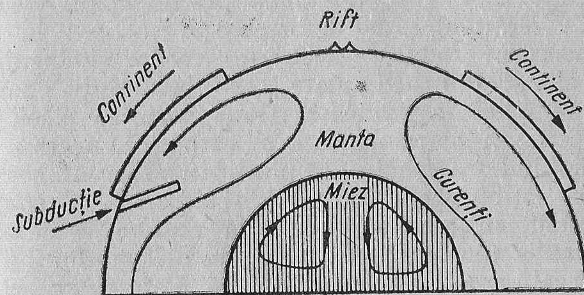


Fig. 13. Secțiune în structura Pămîntului.

ocean-continent se numesc fose oceanice). În aceste zone, numite de subducție, se produc cutremure, se ridică munți și apar vulcani (fig. 13). Un exemplu de rift îl poate constitui formarea Oceanului Atlantic, iar măsurători efectuate cu ajutorul sateliților au dovedit că America se depărtează și în prezent de Europa și Africa; Atlanticul s-a format probabil în 70 de milioane de ani. Cea mai evidentă zonă de subducție este coasta pacifică a Americii. Continentele merg în derivă, în cadrul unui proces ciclic și evolutiv caracterizat prin circuitul ieșirii lavei și retopirii scoarței. Aceasta este schema simplificată a evoluției geologice a Pămîntului și ea poate fi dovedită, de exemplu, prin forma îngemănată a coastelor Americilor

cu cele ale Europei şi Africii, asemănarea rocilor de la marginile corespunzătoare ale acestor continente, prin sondajele la mare adîncime în oceane.

Pe fața de separație a plăcilor tectonice iau naştere cutremure de mică adîncime, pînă la 70 km; în zonele în care o placă pătrunde sub o alta, prin subducție, iau naştere cutremure mijlocii şi profunde, adică de la 100 km la 700 km adîncime. Tensiunile se acumulează treptat la marginea plăcilor pînă trec de limita rezistenței de deformare a rocilor: în acel moment se produce rearanjarea rocilor şi degajarea întregii energii acumulate. În zona țării noastre, de exemplu, s-a produs în timp ciocnirea plăcii est-europene cu placa moesică şi carpatică, acestea din urmă fiind fragmente ale plăcii africane. Alunecarea plăcii est-europene a produs ridicarea Carpaților Orientali, mişcare care mai dă naştere şi în zilele noastre la tensiuni, structura straturilor adînci fiind, în această zonă, foarte complicată. Este de accentuat faptul că tocmai studiul propagării undelor seismice este acela care ajută la cunoaşterea interiorului Pămîntului.

Echilibrul termic al planetei depinde de mulți factori, dintre care cei astronomici sînt probabil cei preponderenți. O variație a energiei pe care Pămîntul o primeşte în permanență de la Soare s-ar traduce imediat printr-o modificare a climei pe Pămînt. Energia radiantă emisă de Soare s-a calculat tocmai prin măsurarea energiei care ajunge la Pămînt; aceasta are valoarea $1,36 \cdot 10^3$ J/m$^2 \cdot$ s şi se numeşte *constantă solară*. Înmulțită cu aria sferei avînd ca rază distanța Soare-Pămînt această mărime dă valoarea energiei totale radiate de Soare — $3,9 \cdot 10^{26}$ J/s —, care este foarte constantă. Cum ar putea varia în acest caz căldura pe care o primeşte planeta noastră? O ipoteză neobişnuită este aceea a trecerii Soarelui, în mişcarea pe care o execută în Galaxie, prin zone cu nori de gaze şi praf cosmic, ce i-ar absorbi o parte din energia radiantă provocînd epocile glaciare. O ipoteză mult mai susținută este aceea că nu atît energia radiantă totală primită de Pămînt s-ar putea modifica în timp*, ci repartizarea acesteia la diferite latitudini. Motivele care ar putea indica aceasta sînt: modificarea gradului de turtire al orbitei terestre, proces care ar avea o periodicitate de 90 000 — 100 000 de ani, modificarea orientării în spațiu a planului orbitei Pămîntului, cu o periodicitate de 42 000 ani, şi precesia echinocțiilor, cu periodicitatea de 26 000 de ani. Măsurători asupra abundenței unui izotop al oxigenului în fosilele planctonului din fundul mărilor ar confirma ciclurile de insolație mai redusă care au dus la glaciații. Se pare că epocile glaciare sînt mai lungi decît pauzele şi, după aprecierile unor specialişti, în ultimii 18 000 de ani am avut o perioadă mai caldă care va mai dura încă 6 000 de ani, după care clima va începe să se răcească.

Dar temperatura Pămîntului se poate schimba şi prin modificarea cantității de bioxid de carbon din atmosferă, gaz care are efectul unei pături ce menține căldura. Există estimări că în ultimul secol cantitatea de CO_2 din atmosferă a crescut cu 20%, ceea ce ar trebui să conducă la o creştere a temperaturii pe Pămînt. Dar, în acelaşi timp, cantitatea de praf din atmosferă a crescut de 5 ori, ceea ce ar conduce la o scădere a temperaturii. Nu toți factorii de care depinde clima Pămîntului sînt bine cunoscuți.

Un aspect important al planetei noastre îl constituie existența cîmpului magnetic terestru. Globul

*** În ultimul timp, s-a ajuns la concluzia că energia radiantă emisă de Soare în unitatea de timp (luminozitatea) ar putea prezenta variații de lungă perioadă (n.a.).**

pămîntesc are o axă magnetică, care nu coincide cu cea de rotație, iar polii axei de rotație nu coincid cu cei magnetici, diferența unghiulară fiind de 11°,5. În lichidul metalic topit, sub presiuni de peste un milion de atmosfere și avînd probabil temperatura de 5 000°C, din zona centrală a globului pămîntesc, care are o rază de aproximativ 3 400 km, se nasc curenți electrici din cauza mișcărilor fierului lichid, creîndu-se astfel un cîmp magnetic general de circa 40 A/m (vezi fig. 13). La schimbarea sensului curenților în lichidul central, se schimbă și sensul liniilor de forță ale cîmpului magnetic. La cîteva sute de mii de ani se produce inversiunea cîmpului magnetic terestru, ceea ce nu se petrece fără să lase unele urme chiar asupra rocilor. O rocă încălzită (lava) și magnetizată păstrează direcția cîmpului magnetic terestru cînd se răcește. De asemenea, unele sedimente ce conțin particule magnetice înregistrează direcția cîmpului în momentul în care se depun. Acum 700 000 de ani, de exemplu, s-a produs o inversiune a polilor magnetici, iar acum 2,5 milioane de ani polaritatea lor era cea din prezent. Dar ceea ce se înregistrează și în prezent este migrația polilor magnetici; astfel, polii magnetici se deplasează cu 5—10 km pe an, în vreme ce continentele se deplasează numai cu 2—3 cm pe an.

Cîmpul magnetic terestru exercită o influență puternică asupra particulelor încărcate electric care se află în spațiul interplanetar. Razele cosmice (primare), compuse din electroni, protoni și nuclee de elemente grele, provoacă în ciocnirea lor cu atomii atmosferei raze cosmice secundare. Însă o mare parte din particule, așa-zișii curenți corpusculari, provin de la Soare *(vînt solar)* și sînt reținute de cîmpul magnetic terestru în jurul Pămîntului, concentrîndu-se în două brîuri de radiație principale, numite *centurile Van Allen*. Centura interioară se întinde de la altitudinea de 2 400 km pînă la 5 600 km și este compusă din protoni, cu energia în jur de 10^8 eV, și electroni, cu energia între 20 și 500 keV. Ea se întinde între latitudinile +30° și −30°. Centura de radiații exterioară este situată între 12 000 km și 20 000 km și compusă din electroni și protoni mai puțin energetici. Între 50 000 și 60 000 km altitudine există chiar o a treia centură de radiații, conținînd electroni de 200 eV. Întreaga regiune din jurul Pămîntului în care particulele încărcate se deplasează în cîmpul magnetic al Pămîntului se numește *magnetosferă*. La o zi după producerea unei erupții cromosferice pe Soare, curentul corpuscular, cu viteze de pînă la 1 000 km/s, ajunge la Pămînt, deformează liniile de forță ale cîmpului magnetic terestru și provoacă „furtuni magnetice" care se traduc și prin perturbarea transmisiilor radio.

Astronauții care au privit Pămîntul de pe Lună au declarat că el era cel mai frumos obiect de pe cer. De acolo vedeau norii, oceanele și continentele. Probabil că ieșirea în cosmos a omului a fost aceea care a făcut să pătrundă definitiv în modul nostru de a judeca ideea că Pămîntul este un obiect ceresc care trebuie studiat și din afara lui, comparat cu celelalte planete și înțeles în contextul general al unei științe care capătă o tot mai mare amploare: planetologia. Fără îndoială că Pămîntul ne este cel mai cunoscut, dar în multe privințe el păstrează încă taine, care vor fi dezvăluite mai ușor studiind celelalte planete și în primul rînd Luna, singurul satelit natural al Pămîntului.

4. LUNA

Enigmaticul astru al nopții, călăuza călătorului după apusul Soarelui, care își schimbă forma de la zi la zi, a fermecat imaginația milenii în șir, prin poezia lui, și a făcut să se țeasă în jurul lui legende și mituri. Periodicitatea schimbării formei Lunii, observabilă de oricine cu ușurință, a dat omenirii un etalon de timp ușor accesibil, primele calendare folosind perioada unei schimbări complete a formei Lunii drept unitate de măsură — denumită *lună* — denumire ce s-a păstrat și astăzi în unele limbi (deși nu mai are același conținut). Fiind folosită pentru măsurarea timpului și drept călăuză, Luna a fost observată continuu din cele mai vechi timpuri, mersul ei pe bolta cerească fiind foarte bine cunoscut. În temple dedicate zeităților ce o personificau sau chiar în observatoare speciale erau urmărite mișcările ei, în cele mai multe cazuri în scopuri practice. Astfel, la Stonehenge în Anglia, există ruinele stranii ale unui observator astronomic de acum 5 000 de ani, destinat se pare urmăririi momentului perigeului lunar (moment în care Luna se află la distanță minimă de Pămînt). Locuitorii din acele părți erau interesați să urmărească mișcările Lunii pentru a prevedea mărimea fluxului și refluxului. Nu ne vom opri asupra

modului în care se făceau observațiile în trecut, ci vom da cîteva date asupra lucrurilor pe care le știm cu precizie în legătură cu satelitul planetei noastre.

Luna — singurul satelit natural al Pămîntului — este un corp foarte puțin diferit de o sferă cu raza de 1737 km (mai mică de o treime din raza terestră). De aici se poate calcula cu ușurință volumul ei și constata că el reprezintă 1/49 din volumul Pămîntului. Masa Lunii este de 1/81,3 din masa terestră, de unde se deduce că densitatea medie, raportată la densitatea medie a planetei noastre, este de 0,606. Pentru a ilustra imaginea dimensiunii Lunii, să privim fig. 14.

Ca satelit al Pămîntului, Luna descrie în jurul acestuia o orbită eliptică cu excentricitatea de 0,0549, deci foarte apropiată de un cerc, distanța mijlocie a centrului Lunii de centrul Pămîntului fiind de 384 400 km, distanța minimă (la *perigeu*) 356 430 km, distanța maximă (la *apogeu*) 406 720 km. Planul orbitei face în medie cu planul eclipticii un unghi de 5°09′, Luna deplasîndu-se în jurul Pămîntului de la vest către est — deci în același sens cu cel al deplasării Pămîntului în jurul Soarelui — perioada acestei mișcări, numită *lună siderală*, fiind de 27 zile 7 ore și 43 minute. Amintim că această perioadă este intervalul de timp necesar revenirii Lunii în același punct al orbitei sale.

Mișcarea Lunii este una dintre cele mai complicate probleme ale mecanicii cerești, în primul rînd pentru că perturbațiile ce intervin în mișcarea sa sînt foarte mari, și în al doilea rînd pentru că, fiind cel mai apropiat corp, toate amănuntele mișcării ei sînt observate, teoria trebuind să țină seama de foarte mulți termeni perturbatori. Perturbațiile fac ca elementele orbitei Lunii să varieze continuu. Astfel, de exemplu, înclina-

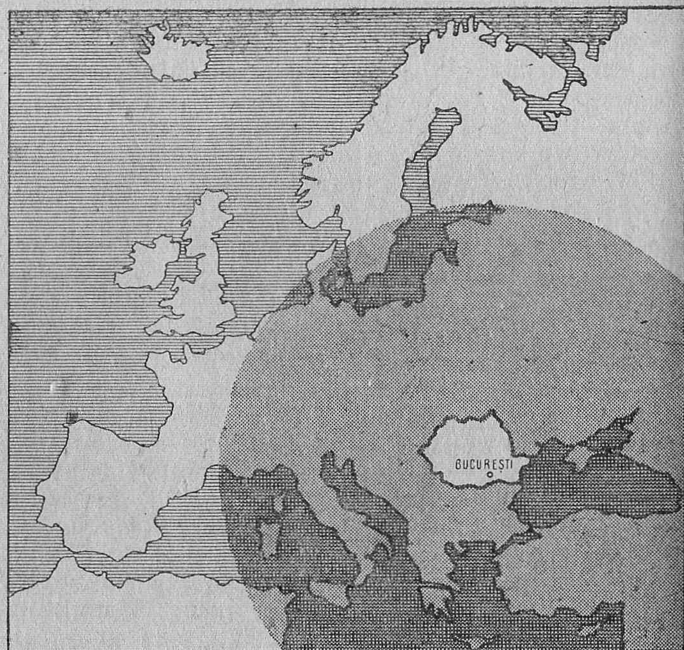


Fig. 14. Dimensiunile Lunii față de Pămînt.

rea orbitei pe ecliptică variază periodic în jurul valorii medii, de la 4°58′ pînă la 5°20′, perioada acestei variații fiind de aproape 6 luni, iar perigeul orbitei lunare se deplasează spre est, efectuînd o rotație completă în 9 ani.

Mișcarea aparentă a Lunii pe fondul cerului înstelat constituie proiecția mișcării ei reale în jurul Pămîntului. Traiectoria ei printre constelațiile zodiacale este o curbă care, datorită perturbațiilor amintite, nu se închide. Mișcarea aparentă este însoțită de schim-

barea continuă a aspectului ei, datorită poziției pe care o are față de Soare și Pămînt, adică după cum îndreaptă spre Pămînt partea luminată sau cea întunecată. Aceste poziții diferite poartă numele de *faze* și sînt explicate în fig. 15. Intervalul de timp între

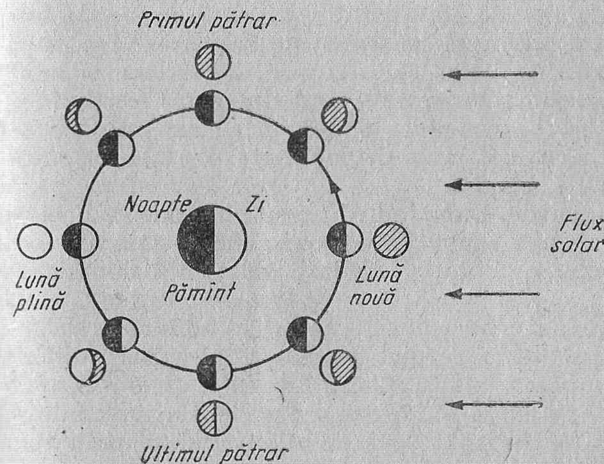


Fig. 15. Fazele Lunii : fiecărei poziții îi corespunde aspectul Lunii așa cum se vede ea de pe Pămînt.

două conjuncții cu Soarele, denumit perioadă de revoluție sinodică, ne dă perioada în care Luna își schimbă forma trecînd prin fazele Lună nouă, primul pătrar, Lună plină, ultimul pătrar și din nou Lună nouă, egală cu 29 zile 12 ore și 44 minute.

Dar pînă în ultimele decenii Luna era numită „astrul enigmatic", pentru că îndreaptă spre Pămînt mereu aceeași parte, ca și cum cealaltă față ar avea ceva de ascuns. Această caracteristică se datorește faptului că rotația în jurul axei sale are aceeași perioadă

cu revoluția siderală. De aceea, cînd privim discul ei distingem mereu același relief.

În realitate, nu se vede numai jumătate din suprafața globului lunar, ci aproximativ 59%. Datorită faptului că axa de rotație este puțin înclinată pe planul orbitei, Luna îndreaptă spre noi cînd un pol cînd celălalt. Pe cînd rotația în jurul axei sale este o mișcare uniformă, mișcarea pe orbită are loc după legea ariilor, astfel că ajungem să vedem o mică porțiune cînd din vestul, cînd din estul părții invizibile. Acest ansamblu de fenomene care ne fac să vedem ceva mai mult de jumătate din Lună poartă numele de *librație*.

În concluzie, Luna îndreaptă spre noi mereu aceeași față, datorită egalității perioadei de rotație cu cea de revoluție, librația dîndu-i un mic balans aparent.

Dacă însă inversăm situația și admirăm de pe Lună spectacolul cerului înstelat, el este foarte diferit de la un punct la altul. Cerul Lunii, fie că este Soarele sau nu pe el, este negru, constelațiile mișcîndu-se aparent foarte lent ; dacă ne aflăm undeva pe partea îndreptată spre el, Pămîntul rămîne mereu aproape fix deasupra orizontului. Dacă ne-am situa într-un punct de la limita părții vizibile a Lunii, datorită librației am vedea Pămîntul cînd deasupra orizontului, cînd dispărînd sub el.

Bineînțeles că, de pe partea Lunii de unde Pămîntul se poate vedea, acesta prezintă, la rîndul său, fenomenul de faze. Nopțile cu „Pămînt plin" de pe Lună (cînd de pe planeta noastră admirăm Luna nouă) sînt atît de luminoase încît se poate citi o carte la lumina Pămîntului.

Luna a devenit accesibilă investigațiilor directe odată cu era zborurilor spațiale, încununate cu atingerea Lunii de primii oameni. Dintr-o ireală apariție

pe cerul înstelat, Luna a devenit un teren concret de cercetare pe care au lucrat microscoape, spectrometre de masă, magnetometre, seismometre etc. Patru sute de kilograme de material lunar se află astăzi pe Pămînt și doar a zecea parte din el a fost examinat pînă în prezent. Întrebări de tot felul au apărut pe parcursul cercetărilor ; bagajul de cunoștințe adunat a transformat Luna într-un al optulea continent al Pămîntului. Între 1959 și 1975 Luna a constituit obiectul a 57 misiuni spațiale, 12 oameni au vizitat-o, iar din 1970 încoace s-au publicat 30 000 de pagini despre Lună. Lipsa unei atmosfere care să erodeze suprafața lunară a făcut să se păstreze înregistrate pe Lună evenimente foarte vechi.

Geografia Lunii era totuși cunoscută și dinainte de era zborurilor cosmice, cu ajutorul telescoapelor. Se știa că „mările" lunare — regiuni plate, deșerturi de lavă solidificată, veche de 3,3—3,7 miliarde de ani — ocupă 30—40% din suprafața astrului. Se făcuseră fotografii excelente ale craterelor lunare. O descoperire importantă a zborurilor spațiale a fost însă absența „mărilor" pe partea invizibilă de pe Pămînt a Lunii.

Munții de pe Lună ating înălțimi de 8 000 m, valori foarte mari față de cele de pe planeta noastră, date fiind dimensiunile relative ale celor două corpuri. Craterele circulare denumite circuri — zone întinse, înconjurate de munți și avînd în mijlocul lor o ridicătură (cel mai mare, Clavius, are diametrul de 230 km) — sînt de zece ori mai puțin numeroase decît craterele propriu-zise, adînci și cu relief neregulat. Pe Lună se văd nenumărate urme ale scurgerii lavei, crăpături, depresiuni, blocuri de rocă risipite. Solul este accidentat, acoperit cu un praf de cîțiva centimetri grosime, foarte aderent și bun izolant termic și electric. Sub acesta se află un strat de roci sfărîmate,

denumit regolit, a cărui grosime variază între 2 și 20 m. Nu s-a găsit apă și nici cea mai slabă urmă de materie organică: 3 000 de teste nu au detectat nici o formă de hidrocarburi complexe. Se cuvine să spunem că rezultatul cercetărilor este definitiv: viața este și a fost total absentă pe Lună.

Densitatea Lunii crește cu adîncimea; sub regolit se află un strat compact de roci de 65 km grosime, care constituie scoarța lunară. Sub aceasta, pînă la 1 100 km adîncime, se întinde mantaua, care înconjoară un nucleu parțial topit datorită căldurii emise de dezintegrările radioactive. Temperatura din centrul Lunii se evaluează ca fiind de 1 500 °C. Existența acestui nucleu cu diametrul de 1 200 km a fost confirmată prin analiza vibrațiilor provocate de căderea pe Lună a unui meteorit de o tonă în iulie 1972. Cutremure nu prea se produc și nu depășesc gradul 2 pe scara Richter; focarele lor s-ar afla la baza mantalei, în zona de 850 km adîncime. Cutremure periodice se produc la intervale de 14 zile, în urma mareelor produse de către Pămînt, care ridică scoarța lunară cu 50 cm. Efectul lor este însă slab, energia cutremurelor lunare degajată anual fiind de 300 de miliarde de ori mai mică decît cea terestră.

Explicația lipsei cutremurelor constă în faptul că Luna e rigidă în proporție de 60% din raza ei, față de Pămînt, unde litosfera deține numai 1%. Neavînd apă, Luna este elastică și vibrează îndelung, ca un clopot, la orice ciocnire.

Cu ajutorul aparatelor seismometrice plasate pe Lună, s-a stabilit că pe astru cad anual o mie de meteoriți de peste un kilogram fiecare și vibrațiile cauzate de ei se amortizează de-abia în 3—4 ore.

Presiunea atmosferică la nivelul solului lunar este foarte scăzută, fiind produsă de cei cîțiva atomi aduși de vîntul solar; ea corespunde cu presiunea

de la 1 500 km altitudine din cazul Pămîntului, care este de 100 000 de miliarde de ori mai mică decît cea de la suprafața planetei. Deci Luna nu are atmosferă și acesta este și motivul pentru care suprafața ei este atît de clar vizibilă. Dar, neexistînd ecranul acesta protector, pe Lună temperaturile variază cu 300 K între lungile zile și nopți, de la maxime de +120 °C pînă la minime de —180 °C. Variațiile acestea nu se mai simt la 2—3 m adîncime unde, potrivit măsurătorilor misiunilor Apollo, domnește o temperatură constantă de —30 °C. În adîncime, se produce o creștere relativă a temperaturii, ca rezultat al încălzirii zonelor radioactive aflate în interiorul Lunii.

Intensitatea cîmpului magnetic este foarte slabă pe Lună, măsurînd doar 0,5% din cea terestră. Acum 3,3 miliarde de ani, cîmpul magnetic lunar era probabil de zece ori mai puternic decît astăzi — și atunci destul de slab față de cel terestru. Nu poate fi vorba de a asemăna structura cîmpului geomagnetic cu selenomagnetismul: planeta noastră este ca o bară magnetizată cu direcția nord-sud, pe cînd magnetismul lunar este produs de surse locale risipite în manta — un magnetism fosil, ce a dispărut odată cu răcirea astrului. Busola nu poate fi folosită pe Lună, neexistînd acolo o direcție dominantă a cîmpului magnetic.

Pe Lună nu s-a descoperit nici un element chimic nou; s-au investigat însă diferențele cantitative față de Pămînt ale elementelor chimice cunoscute. Astfel, elementele chimice ușoare s-au volatilizat și au părăsit Luna și, de aceea, sînt mai puțin abundente ca pe Pămînt. Neputînd compara atmosferele, analiza proporției elementelor chimice s-a făcut examinînd compoziția rocilor de pe Lună și de pe Pămînt. Pe baza acestei analize, s-au constatat mari deosebiri între cele două corpuri. Astfel, cel mai frecvent element, oxigenul, este în proporție de 42% pe Lună

(pe Pămînt proporţia este de 47%); siliciul de 28% pe ambele corpuri, dar fierul este mult mai abundent pe Lună (8,5% faţă de 5%). Să precizăm că Luna, Marte (şi probabil Mercur) sînt foarte bogate în ferosilicaţi, spre deosebire de Pămînt şi Venus, constituite din alumino-silicaţi. De aceea, pe Pămînt locul al treilea în ordinea proporţiei din roci este ocupat de aluminiu (cu 8,1%). Al patrulea element în rocile lunare este calciul, cu 5,5% (pe Pămînt, 3,3%), iar al cincilea constituie o mare surpriză: titanul, cu 4,5%, faţă de 0,6% pe Pămînt. Încă două elemente mai au pe Lună abundenţe de peste 1% (aluminiul şi magneziul), dar şi elementele „minore" (sub 1%) sînt interesante: cromul este de 10 ori mai abundent ca pe Pămînt (deci Luna nu s-a format în acelaşi loc cu Pămîntul), manganul de două ori, iar sulful de trei ori. Luna este foarte săracă în varietăţi de minerale: faţă de 2 000 de minerale cîte se găsesc pe Pămînt, Luna posedă doar 100. Alte diferenţe pot fi exemplificate prin cobalt (de o sută de ori mai abundent pe Lună!), potasiu şi cupru (care, dimpotrivă, aproape lipsesc).

Acceleraţia greutăţii fiind pe satelitul natural al Pămîntului de o şesime din cea de pe Pămînt, gazele au părăsit de mult Luna, deşi procesul continuă şi astăzi: mai există infime cantităţi de hidrogen şi gaze rare care se pierd în spaţiu.

O primă concluzie se impune în urma analizei rocilor lunare: aceea că Luna nu s-a desprins de Pămînt. O a doua posibilitate privind originea ei este că s-a putut forma simultan cu Pămîntul, ca satelit al acestuia, prin concentrarea materiei iniţiale. Această situaţie ar putea fi considerată ca neobişnuită, din cauza masei relativ mari a Lunii — de numai 81 de ori mai mică decît a Pămîntului. Sateliţii celorlalte planete sînt, comparativ, mult

mai puţin masivi şi chiar masa tuturor planetelor faţă de cea a Soarelui constituie doar a 1 100-a parte. În privinţa originii Lunii există şi o a treia posibilitate, tot mai susţinută în ultima vreme: Luna ar fi fost o planetă, circulînd în jurul Soarelui pe o orbită atît de apropiată de cea terestră, încît a fost captată de Pămînt. Există şi ipoteza că Luna era chiar o planetă mai apropiată de Soare decît Mercur. Oricum ar fi fost ea captată de Pămînt, frînarea mişcării ei s-a făcut prin efecte mareice, rotaţia Pămîntului fiind şi ea încetinită concomitent (de la perioada de 6—7 ore, cît se consideră că ar fi fost iniţial).

Luna este o anomalie a sistemului solar, deoarece planetele mai apropiate de Soare nu au sateliţi iar masa ei mare şi distanţa relativ mică de Pămînt ne fac să socotim sistemul Pămînt-Lună ca o „planetă dublă". Ca argumente pledînd pentru ipoteza captării se pot cita: diferenţa importantă de densitate dintre Pămînt (5,52 g/cm^3, asemenea lui Mercur şi Venus) şi Lună (3,3 g/cm^3, asemenea lui Marte), unele caracteristici orbitale, faptul că Pămîntul nu conţine în atmosfera lui gaze rare în proporţia în care acestea se aflau în materialul originar al sistemului solar, ci de un milion de ori mai puţin. În legătură cu această ultimă constatare, se poate imagina că Luna este aceea care, în momentul apropierii, a smuls Pămîntului atmosfera primitivă. Orbita Lunii trebuie să fi fost foarte excentrică la început, cînd imaginea Lunii a apărut pe cerul pămîntesc, acum 4 miliarde de ani. Apoi orbita s-a mai stabilizat şi a început producerea cu regularitate a mareelor pe Pămînt, lucru constatat din urmele lăsate în unele roci terestre de acum 3 miliarde de ani.

În mod sigur, epoca de început a sistemului solar a fost foarte bogată în ciocniri catastrofice cu meteoriţi şi chiar cu comete. Aspectul „ciupit de vărsat"

al Lunii (200 000 de cratere cu diametrul mai mare de 1 km, numai pe fața vizibilă a ei) a rezultat din ciocniri cu meteoriți, care au avut loc ceva mai recent; de fapt suprafețele întinse de pe Lună, denumite mări, ar fi fost produse de ciocniri anterioare cu obiecte cosmice mari. Imediat după captare, orbita Lunii fiind atunci mai aproape de Pămînt, forțele mareice smulgeau din ea bucăți care fie cădeau pe Pămînt, fie recădeau pe Lună. Să fie acestea formațiunile denumite „masconi", descoperite a exista sub mările lunare și considerate a fi mase de bazalt care provoacă anomalii gravitaționale? Sau acești masconi s-au format cînd depresiunile de pe suprafața Lunii existau deja și au fost produși de întărirea lavei ce a înaintat și s-a oprit sub scoarța Lunii?

Din epoca de imediat după formare nu s-au păstrat roci neatinse, din care să putem deduce originea Lunii. Faptul că izotopii oxigenului au aceeași proporție pe Lună ca și pe Pămînt arată, în orice caz, că cele două corpuri s-au format cam în aceeași regiune a sistemului solar; aceasta deoarece studiul meteoriților arată diferențe mari în compoziția izotopică a oxigenului, după zona de proveniență. Mai rămîn multe de aflat despre astrul nopții, deși istoria Lunii este înțeleasă astăzi aproape tot atît de bine ca și a Pămîntului. După formarea scoarței se pare că a urmat o primă fază de vulcanism, produs de încălzirea interiorului de căldura degajată de dezintegrările radioactive ale uraniului, toriului și potasiului-40. A urmat o perioadă de bombardare cu corpuri mari, pînă acum 4 miliarde de ani, apoi lava a țîșnit din nou continuînd să curgă timp de aproape un miliard de ani. Întărirea mantalei pe 1 000 km adîncime a interzis lavei fierbinți să mai iasă la suprafață; aceasta spre deosebire de Pămînt, unde obstacolul de 70—150 km pe care-l reprezintă litosfera este

și astăzi ușor învins de vulcanism. După aceasta s-a instalat liniștea, întreruptă de căderi din ce în ce mai rare de meteoriți. În prezent, terenul lunar este „arat" de micrometeoriți la fiecare 10 000 de ani pînă la adîncimea de 1 mm, iar într-un miliard de ani meteoriții mai mari ajung să răscolească solul pînă la 1 metru în adîncime.

În timp ce cratere ca Tycho sau Copernicus au o vechime de 100 și, respectiv, 900 milioane de ani, se mai produc și în zilele noastre cratere! Dovadă stă relatarea dintr-o cronică engleză că în anul 1178, la 18 iulie, oamenii au observat o lumină pe Lună. Se crede că este vorba de căderea unui meteorit uriaș care a format craterul Giordano Bruno, de 20 km diametru, o formație veche așadar de numai 800 de ani. Totuși, putem afirma că Luna, odinioară activă din punct de vedere termic, chimic și mecanic, este astăzi un astru mort.

Luna reprezintă pentru cunoaștere un mare rezervor de date. Studiul ei a confirmat vîrsta de 4,6 miliarde de ani pe care o atribuim Soarelui și planetelor. Cercetarea Lunii va fi în continuare pasionantă, dacă se va putea pătrunde mai adînc în solul ei, acolo unde au lăsat urme variația radiației solare și a celei cosmice în decursul ultimelor 2—3 rotații ale galaxiei noastre. Astfel, vom afla mai mult despre însăși istoria sistemului solar și mai ales, despre trecutul Pămîntului. Luna va deveni, fără îndoială, o mare stație astronomică, ale cărei instrumente de observație nu vor fi împiedicate de nici o atmosferă de a vedea mai mult și mai departe în univers.

5. PLANETELE INTERIOARE: MERCUR ȘI VENUS

Mercur este o planetă mică, cu masa egală cu 5,6% din masa Pămîntului și raza cu 38% din raza acestuia; are cea mai excentrică și cea mai înclinată orbită pe ecliptică dintre planete, cu excepția lui Pluto (vezi tabelul 1). Fiind cea mai apropiată planetă de Soare, ea poate fi văzută doar la elongația maximă, uneori în timpul crepusculului.

Cu ajutorul telescopului se deosebesc prea puține detalii ale suprafeței planetei și, de aceea, pînă nu de mult nu se cunoștea nici perioada ei de rotație. Zborurile cosmice însă ne-au apropiat-o, fotografiile luate de pe navele spațiale care au survolat suprafața planetei punînd în evidență detalii de 5 000 de ori mai mici decît cele obținute anterior prin telescop. Dintr-odată, Mercur a devenit cunoscut, așa cum era Luna înainte de vizitarea ei de către oameni. Dealtfel, Mercur se aseamănă mult cu Luna în privința aspectului exterior: aceeași suprafață ciuruită de cratere, același aspect de pustietate. Chiar înaintea misiunii Mariner 10 (1974), care a ajuns pînă la cîteva sute de kilometri de Mercur, se știa că suprafața acestei planete este acoperită cu un strat subțire de silicați care reflectă lumina și semnalele radar. Se cunoștea, de asemenea, densitatea planetei, care

este mare (5,4 g/cm³). Deci, pe dinafară Mercur se aseamănă cu Luna, iar pe dinăuntru cu Pămîntul. Această densitate denotă că în miezul planetei se găsesc metale grele.

O descoperire importantă, bazată pe metode moderne (impulsuri radar), a constat în determinarea, în 1965, a perioadei de rotație. Imediat, s-a remarcat că valoarea de 58,65 de zile astfel obținută reprezintă două treimi din perioada de revoluție a planetei (88 zile). Cu alte cuvinte, la două revoluții corespund trei rotații ale planetei, ceea ce nu este cîtuși de puțin întîmplător. Avem de-a face cu un fenomen de rezonanță, în acest caz fiind vorba de cuplarea mișcării de rotație cu cea de revoluție. În cuprinsul lucrării, vom mai întîlni astfel de rezonanțe și în alte regiuni ale sistemului solar.

Planeta nu are atmosferă. Condițiile „climatice" pe Mercur sînt aspre: energia primită de la Soare este de 10 ori mai mare pe unitatea de suprafață decît pe Lună. La „amiază", în zona ecuatorului, cînd Mercur este la periheliu, temperatura este de 420 °C, iar pe fața neluminată scade la −180 °C. Din cauza perioadei de rotație foarte lungi și a apropierii planetei de Soare, la vremea periheliului un observator de pe Mercur ar vedea Soarele oprindu-se pe cer la „amiază" și deplasîndu-se apoi retrograd (spre vest), printre constelații. Motivul este că, la periheliu, viteza unghiulară orbitală a planetei este mai mare decît viteza ei unghiulară de rotație.

Un alt fenomen interesant pe Mercur este producerea unui simulacru de anotimpuri, dar nu din cauza înclinării axei de rotație a planetei față de planul orbitei ei — ca pe Pămînt —, căci aceasta este probabil perpendiculară pe planul respectiv. Situația este următoarea: zonele cele mai expuse radiației solare, cînd planeta este la periheliu, sînt

întotdeauna în apropierea longitudinilor de 0 și 180°; longitudinile de 90 și 270° primesc maxima radiație la afeliu. De aceea, meridianele 0 și 180° primesc un flux de radiație solară de două ori mai mare decît cele situate la 90° de ele și, astfel, variația sezonieră a temperaturii se produce în longitudine și nu în latitudine, așa cum sîntem obișnuiți pe Pămînt.

În regiunile ecuatoriale ale lui Mercur temperaturile din sol sînt întotdeauna peste punctul de îngheț al apei, iar în regiunile polare ele sînt mult sub acest punct. Aceasta, în vreme ce pe Lună sau pe Marte temperaturile subsolului sînt pe mulți kilometri în adîncime sub punctul de îngheț al apei; de aceea ne-am aștepta ca măcar pe Mercur să se ivească urme de apă în sol. Nici hărțile radar elaborate de pe Pămînt, nici fotografiile transmise din apropierea planetei nu au sesizat însă urme de apă pe Mercur.

Suprafața este ceva mai netedă ca a Lunii, poate și din cauză că accelerația greutății este dublă față de cea de pe Lună, iar materialul împrăștiat în urma izbirii cu meteoriții nu sare atît de departe de locul ciocnirii. Urme clare ale acestor ciocniri s-au păstrat sub formă de cratere, al căror relief nu l-a îndulcit nici o atmosferă.

În ciuda rotației sale lente, Mercur posedă un cîmp magnetic și, deși valoarea intensității acestuia nu atinge 2% din cea a cîmpului terestru, el este totuși mai puternic decît cîmpul pe Venus sau pe Marte. În plus, se constată că axa cîmpului magnetic coincide practic cu axa de rotație a planetei. Tocmai prezența acestui cîmp magnetic trădează prezența unei mari cantități de fier în nucleul planetei.

Istoria planetei cuprinde, fără îndoială, o perioadă de vulcanism, urmată de una de bombardament cu obiecte meteoritice despre care, date fiind asemănările constatate, putem presupune că s-a petrecut

în aceeași epocă în care a fost bombardată și Luna. Cel mai mare bazin provocat de o ciocnire atinge pe Mercur diametrul de 1 400 km.

Planeta Mercur a prilejuit o foarte importantă verificare a teoriei relativității generalizate, elaborată de Albert Einstein. Orbita planetei se rotește cu un avans de 43″,2 pe secol, ceea ce nu s-a putut explica cu ajutorul mecanicii newtoniene, căci între Mercur și Soare nu exista nici o altă planetă care să exercite vreo perturbație. În cadrul teoriei sale, Einstein a arătat că forței de atracție gravitațională dintre două mase m și m', exprimată de Newton prin cunoscuta formulă $F = k\frac{mm'}{r^2}$, unde r este distanța dintre ele, iar k constanta gravitației, trebuie să i se adauge un termen suplimentar, de forma A/r^4. Calculîndu-se acest termen pe baza noii teorii, s-a găsit și explicația avansului periheliului orbitei lui Mercur.

Următoarea planetă, vecină cu Pămîntul, este *Venus*, pe drept denumită Luceafărul, ca fiind cea mai strălucitoare dintre planete pe cerul nostru. Ea poate atinge o strălucire aparentă de 13 ori mai mare decît a lui Sirius, cea mai luminoasă stea de pe cer. Din fig. 6 se vede că Venus prezintă faze, vizibile cu telescopul, discul luminat în întregime fiind mai mic decît discul luminat parțial (seceră). În permanență învăluită în nori, tainele ei au început să fie dezvăluite de-abia în epoca zborurilor cosmice. Norii atmosferei venusiene ne împiedică vederea suprafeței planetei, dar tot ei sînt cauza excepționalei străluciri pe care o posedă în bătaia razelor Soarelui. Primește de două ori mai multă lumină decît Pămîntul, dar norii reflectă o mare parte din ea.

Venus pare planeta geamănă cu Pămîntul, cel puțin la prima vedere; constatăm din tabelul 5 că

are practic dimensiunile, densitatea și masa Pămîntului, avînd de asemenea atmosferă. Asemănările se opresc însă aici. Mișcarea de rotație a lui Venus în jurul axei sale, determinată în 1965 prin metode radioastronomice este foarte lentă (243 de zile) și se execută retrograd. Vom vedea că, dintre planete, numai Uranus se rotește astfel. Rotația planetei Venus, văzută de deasupra polului venusian, este așadar în sensul acelor ceasornicului. Soarele răsare acolo la vest și apune la est; din această cauză, lumina zilei ține 58 de zile, iar întunericul nopții tot atît. Axa de rotație fiind înclinată cu numai 3° față de planul orbitei sale, pe planetă nu se succed anotimpuri. Interesant este faptul că la fiecare conjuncție inferioară (fig. 6, poziția V_1) planeta ne arată aceeași față, ceea ce ar putea reprezenta un caz de rezonanță între rotația planetei Venus și mișcarea de revoluție a Pămîntului.

Rotația sa lentă nu contribuie la întreținerea unui cîmp magnetic (intensitatea acestuia este foarte slabă). Dar să vedem cum arată în realitate atmosfera venusiană. La sol, temperatura este constantă, de 475°C (plumbul ar fi topit!), presiunea atmosferică atinge 92 at, iar gazul predominant este bioxidul de carbon (97% din atmosferă), la care se adaugă puțin azot. Gazul carbonic este cauza producerii „efectului de seră" (oprirea radiației infraroșii emisă de solul planetei de a se împrăștia în spațiu), ceea ce face ca „noaptea" să fie chiar mai cald ca în cursul „zilei". Planeta nu are apă și nici oxigen. Norii sînt compuși din picături fine de acid sulfuric și clorhidric. O ploaie care nu atinge solul, formată din compuși condensați ai halogenurilor de mercur, cade permanent într-un strat de zeci de kilometri situat la înălțime. Pe scurt, un adevărat infern.

Cum s-au aflat aceste detalii? Aparatele montate

pe stațiile spațiale Venus (din care trei au transmis fotografii și de la solul planetei), transmițînd date la trecerea lor prin atmosferă, au descoperit existența a două straturi alunecînd unul în lungul celuilalt. Pînă la 35 km altitudine atmosfera este foarte densă, supraîncălzită, dar limpede, cu vînturi slabe de viteze ce nu depășesc 15 km/oră; deasupra, suflă vînturi de 400 km/oră și circulă norii de acid sulfuric pînă la 70—80 km altitudine. Partea superioară a atmosferei are o rotație retrogradă de 60 de ori mai rapidă ca rotația planetei. La 90 km altitudine există un minim de temperatură (—110°C), mai sus rămînînd dominante hidrogenul și heliul, apoi numai hidrogenul.

Pătrunde lumina Soarelui pînă la solul acestei planete? Probabil doar a suta parte din cea care sosește la limita superioară a norilor. Deci există o vizibilitate ca în cazul unui cer întunecat de furtună pe Pămînt. În plus, dacă ne-am afla acolo (lucru greu de imaginat), am constata un fenomen foarte curios: atmosfera fiind foarte densă, efectul de refracție a luminii ar fi atît de puternic încît am avea impresia că ne găsim într-o imensă groapă.

Solul a fost studiat, de pe Pămînt, prin metode de interferometrie radar, cu ajutorul cărora s-a făcut chiar o hartă a planetei Venus. S-au observat forme de relief cu dimensiuni mai mari de 4 km, reușindu-se astfel să se deosebească cratere fără să se știe încă exact în ce proporție sînt vulcanice sau meteoritice. Cel mai mare crater are diametrul de 160 km și o adîncime de 500 m. Există un bazin plat cu lărgimea de peste 1 000 km, munți pe sute de kilometri lungime, cu înălțimi de 3 000—4 000 m, platouri etc.

Fotografiile luate, începînd din 1975, de stațiile Venus, arată un teren accidentat, cu numeroase pietre de mărimi între 30 și 40 cm, unele de pro-

venientă meteoritică, aspectul lor indicînd un proces de eroziune.

Scoarța planetei este probabil subțire, iar temperatura în nucleul lichid, mai mic ca cel terestru, în jur de 4 000 °C.

În mod sigur avem de-a face pe Venus cu o lume moartă. Apa a dispărut acolo din cauză că radiația ultravioletă a pătruns mai profund ca pe Pămînt și a disociat vaporii de apă în oxigen și hidrogen. Din cauza temperaturii ridicate, hidrogenul a scăpat în spațiu, iar oxigenul s-a fixat în roci. Pe cînd bioxidul de carbon este fixat pe Pămînt în roci, el formează practic atmosfera planetei Venus și prin „efectul de seră" a împiedicat apariția biosferei.

Luceafărul este situat totuși prea aproape de Soare pentru a fi devenit un leagăn al vieții...

6. MARTE, PLANETA ROȘIE

Un mare interes au stîrnit în ultima vreme expedițiile pentru realizarea contactului cu planeta Marte ale celor două stații spațiale Viking. De fapt, scopul misiunilor a fost căutarea vieții pe această planetă. După fotografiile luate de stațiile Mariner, începînd din 1965, și îndeosebi de Mariner 9 (în anul 1971), s-a șters legenda „canalelor" de pe Marte și putem afirma în momentul de față, mai ales după atingerea solului marțian, că s-au precizat multe aspecte necunoscute pînă nu demult.

Perioada de revoluție a lui Marte este de aproape doi ani, dar perioada de rotație și înclinarea axei de rotație coincid practic cu cele terestre; de aceea, Marte prezintă fenomenul anotimpurilor, cunoscut de mult pe baza existenței calotelor polare vizibile ca pete albe, cu variație sezonieră. Planeta are raza pe jumătate cît a Pămîntului, volumul (în consecință) de numai 15% din al acestuia și densitatea ceva mai mică — 3,96 g/cm³. Posedă o atmosferă cu presiunea egală cu mai puțin de a suta parte din cea terestră. O dată la 15 ani Marte se vede mai bine, fiind mai aproape de Pămînt cu ocazia „marilor opoziții"; din raportul duratelor revoluțiilor celor două planete (15/8), rezultă că la opt „ani" marțieni corespund

15 ani tereștri, cînd acestea revin în aceeași poziție reciprocă.

Cîtă vreme astronomia a fost limitată la mijloacele de observație de pe Pămînt, datele despre Marte erau incomplete și chiar incorecte. Investigația cu ajutorul stațiilor de tip Viking a adus un progres important în această privință. Cîntărind 3,5 tone fiecare și constituite din două părți (una destinată să efectueze experiențe la sol — Viking 1 din 20 iulie și Viking 2 din 3 septembrie 1976 —, cealaltă continuînd să se rotească în jurul planetei), stațiile Viking au fost destinate să ne transmită date de la o distanță pe care lumina o străbate în 16 minute, pe timp de doi ani de la începerea experimentului. Să redăm în cele ce urmează cele mai recente date despre atmosfera și solul marțian și aspectele de structură deduse pe baza acestora.

Atmosfera este rarefiată (6,1 milibari), cum este cea terestră la 30 km altitudine, deși accelerația gravitației este egală cu o treime din cea terestră. Diferența relativă de temperatură dintre poli și ecuator este chiar mai mare ca cea de pe Pămînt. Vara, calota de gheață de la polul nord se topește, în vreme ce la polul sud bioxidul de carbon se condensează la temperaturi în jur de —120 °C. Din cauza presiunii joase, punctul de fierbere al apei se află la 0 °C, iar apa în stare lichidă nu poate exista: gheața se evaporă direct în atmosferă, prin sublimare. Planeta este foarte uscată; dacă s-ar precipita întreaga cantitate de vapori din atmosferă (de maximum 0,1%) ar forma doar un strat de 5 microni pe suprafața planetei.

Ca și pe Venus, componentul principal al atmosferei este bioxidul de carbon (95%), alături de care se află puțin azot (2—3%) și oxid de carbon (în rest). Pe măsură ce înghețul mărește una din calotele polare, presiunea atmosferică mai scade din cauza fixării gazului carbonic care se depune sub formă de zăpadă pînă la jumătatea distanței dintre pol și ecuator. Vara, după evaporarea acestuia, mai rămîne o calotă de gheață de 100 km diametru și poate sute de metri grosime, la temperatura de —70 °C. În zonele încălzite temperatura urcă la —30 °C.

Furtuni puternice se produc pe Marte, ca aceea din 1971, cînd norii de praf întunecau toată suprafața planetei și se ridicau la peste 50 km altitudine, iar viteza vîntului atingea 450 km/h; pe Pămînt, praful nu se ridică la peste 7 km altitudine, iar vînturile nu ating astfel de viteze. Furtunile încep în general cînd Marte se află la periheliu, iar aria lor se lărgește dinspre ecuator spre poli. În rarele momente cînd se ating temperaturi de 0 °C, se ridică pe văi și în cratere, pe fondul unui cer de culoare roz, ceață și norișori alburii constituiți din cristale de gheață. Astfel de nori au fost observați la 20 km altitudine, în jurul craterului celui mai înalt vulcan, Mons Olympicus, care are înălțimea de 24 km și diametrul de 600 km (80 km avînd numai craterul).

Topografia planetei este mai variată decît a Lunii. Solul marțian este nisipos, cărămiziu, presărat cu pietre de culoare bleumarin (fig. 16); prezintă o consistență ca și cum ar fi umed. Nu poate fi însă vorba de așa ceva la un material a cărui temperatură variază între —30 °C și —90 °C. Coeziunea nisipului marțian este probabil efectul magnetizării fierului atît de abundent pe această planetă și a cărui prezență explică și culoarea roșie a terenului; nisipul este format dintr-un material puternic oxidat — oxizi ferici, hidroxizi feroși, mineralul dominant fiind limonitul, care se găsește pe Pămînt în unele deșerturi de culoare roșiatică. Fierul se află în proporție de 14% (pe Pămînt sub 5%), restul componentelor

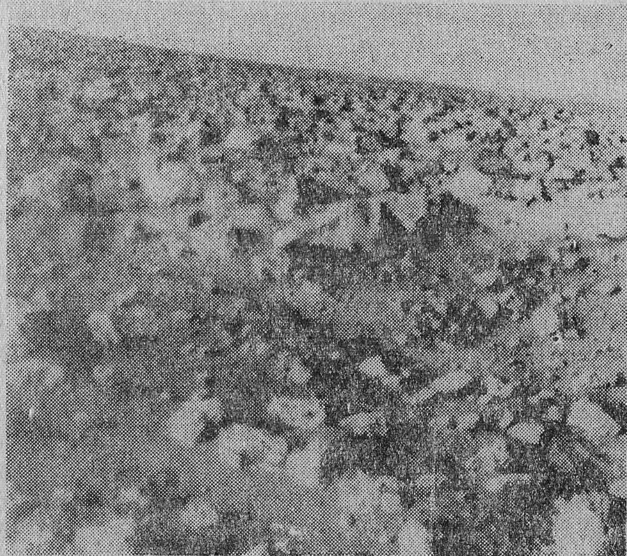


Fig. 16. Fotografie luată pe Marte de stația Viking (1976).

solului fiind siliciul (în proporție de 20%, sub formă de silicați), calciul, aluminiul, magneziul, clorul, sulful. Principalul constituent al rocilor marțiene este însă oxigenul (50%).

Relieful prezintă spre nord terenuri predominant vulcanice, iar spre sud zone presărate cu cratere — de zece ori mai puțin frecvente ca pe Lună. Faptul că în zona vulcanică nu există cratere rezultate din ciocniri cu corpuri meteoritice arată că, acum 200 de milioane de ani, a existat o activitate vulcanică ce, din punct de vedere astronomic, poate fi socotită recentă. Vechile cratere au fost așadar acoperite cu lavă și cenușă. Craterele sînt mai plate ca pe Lună, ceea ce denotă un proces de eroziune. Există și bazine mari înconjurate de munți (echivalente mărilor lunare) care ajung la diametre de 1 000—2 000 km. Într-unul din aceste bazine, Hellas, cu o adîncime de 3 000—4 000 m, se produc în permanență furtuni de nisip.

Vulcanii de pe Marte nu mai sînt activi și au în medie cratere cu deschiderea de un kilometru, cu excepția cîtorva mai mari, care depășesc cu mult pe cei întîlniți pe Pămînt (Mons Olympicus). Se observă urme uriașe de scurgeri de lavă, ajungînd pînă la 200 km depărtare de crater. Un canion uriaș (rift) se întinde pe 4 000 km (aproape pe un sfert din circumferința planetei) și are lărgimea de 120 km și adîncimea de 6 km.

Văi sinuoase trădează prezența categorică în trecut a unui fluid care le-a sculptat și care nu poate fi decît apa. Una din acestea, un adevărat fluviu secat, măsoară 400 km lungime și, în unele locuri, 5 km lățime. Toate formațiunile de acest tip și celelalte existente pe Marte au dat multă vreme impresia de canale, ceea ce a captivat atenția multor astronomi din trecut. Harta ipoteticelor „canale" nu are nici o asemănare cu relieful recent fotografiat. Formațiunile cele mai mari care arată scurgerea de ape pot avea vechimea unui miliard de ani. Unele sînt produse poate de ploi, altele prin inundații apărute în urma topirii unor lacuri subterane, altele prin curgerea lentă a apei. Deci, neîndoielnic, pe suprafața lui Marte a avut loc o intensă activitate în trecut.

Marea problemă a acestei planete este încă aceea a apei. Unde este apa de pe Marte? Existența apei în stare lichidă în trecut presupune o atmosferă de cel puțin 5 ori mai densă. Faptul că în atmosfera marțiană există în proporție relativ mare gaze rare (care nu intră în reacții chimice) a dus la concluzia că, în trecut, presiunea atmosferică avea 100 mili-

bari (pe Pămînt este de 1 bar). S-ar putea ca apa să provină din ciocniri cu comete, Marte fiind o țintă mai masivă decît Luna. Sau activitatea vulcanică a topit, la un moment dat, gheața de pe planetă? Se găsește ea înmagazinată în prezent în calotele polare sau în straturile subterane ale planetei, așteptînd acolo „vremuri mai bune"? Într-adevăr, se știe că există, pe de o parte, variații ale înclinării axei de rotație a lui Marte cu 20°, în cicluri de 100 000 și un milion de ani; pe de altă parte, excentricitatea orbitei lui Marte atinge valoarea zero în cicluri de 2 milioane de ani. Acestea ar putea aduce epoci de îndulcire a climei marțiene.

Marte poate avea un miez lichid, de dimensiuni relativ reduse, și, de aceea, cîmpul magnetic este foarte slab. Scoarța este groasă (300 km), cutremurele sînt rare pe Marte, deși în toamna anului 1976 s-a înregistrat unul de grad aproape 7.

Fără o protecție asigurată prin prezența unui cîmp magnetic împotriva particulelor energetice încărcate, fără o atmosferă mai densă care să o apere de pătrunderea radiației ultraviolete, prea depărtată de Soare pentru a avea temperaturi peste 0 °C, fără apă și oxigen liber, — iată o serie de condiții defavorabile existenței vieții pe această planetă. Și totuși, oamenii de știință au sperat. Mai multe tipuri de aparate au lucrat pe solul planetei pentru detectarea unor forme de viață. Primul, pentru constatarea schimbului de gaze, a stabilit că la contactul cu vaporii de apă se produce o eliberare rapidă de oxigen și apoi de bioxid de carbon. Al doilea aparat a fost destinat detectării procesului de încorporare a bioxidului de carbon prin urmărirea izotopului carbon-14. Al treilea aparat a constatat asimilarea carbonului după încălzirea probelor de sol. Și totuși, în ciuda activității chimice constatate, cromatograful pentru detectarea compușilor organici a dat verdictul negativ: nici o urmă de materie organică (mai puțin decît în ghețurile Antarcticei). Molecule organice complexe au fost descoperite în spațiul interstelar, prin metode radioastronomice. Este de mirare că există în gazul interstelar molecule de eter formic sau de alcool etilic, iar pe o planetă vecină nu s-a găsit nimic.

Există așadar pe Marte o activitate chimică specială, dar se presupune că ea nu este semnul prezenței vieții, ci trădează procese chimice datorite peroxizilor și superoxizilor din solul planetei, care pot elibera oxigen în prezența vaporilor de apă. Programul de analiză a solului marțian în căutarea vieții a durat luni de zile, după care a fost întrerupt, nedînd rezultate. Fără îndoială că, dacă se va reuși în 1993, aducerea unui eșantion de material marțian pe Pămînt, după cum este proiectat, se va ajunge la o concluzie definitivă în această privință.

A existat totuși viață în trecut? Urmele oricăror corpuri organice sînt șterse rapid de iradierea cu razele ultraviolete, absența apei lichide, oxidările puternice. Mulți specialiști înclină să creadă că Marte ar reprezenta planeta viitorului, iar evoluția ei de-abia începe.

Sateliții lui Marte, Phobos și Deimos, bănuiți chiar o vreme de a fi construiți de ființe extraterestre, au fost acum fotografiați de aproape și părerea oamenilor de știință este că ei sînt fie asteroizi captați, fie bucăți dintr-un satelit mai mare care s-a fragmentat.

Cu Marte se sfîrșește căutarea vieții în sistemul solar. Exceptînd Pămîntul, care printr-un excepțional concurs de împrejurări a atins nu numai treapta vieții, ci și pe aceea a conștiinței, nu ne mai putem aștepta la forme de viață decît la distanțe de sute de ani-lumină de noi.

7. JUPITER ȘI PLANETELE ÎNDEPĂRTATE

Trecem acum la planetele gigante, sărind peste spațiul, aparent neocupat de vreo planetă, dintre Marte și Jupiter, dar în care au fost descoperiți la începutul secolului trecut asteroizii. Ajungem astfel la depărtări care măsoară peste cinci unități astronomice.

Ne întîmpină o planetă uriașă, *Jupiter*, avînd o masă de aproximativ 2,5 ori mai mare ca a tuturor celorlalte planete la un loc. Este un astru atît de important încît sistemul solar, privit simplificat, rămîne constituit din două obiecte: Soarele și Jupiter. Între aceste două corpuri există și alte elemente de apropiere. În primul rînd, compoziția chimică, care a rămas neschimbată la Jupiter de acum 4,6 miliarde de ani și pare să exprime compoziția nebuloasei inițiale din care s-a format Soarele. În al doilea rînd, Jupiter nu corespunde exact definiției unei planete, care este un corp luminat de Soare și nu are o sursă de căldură proprie. Într-adevăr, o mare surpriză a fost constatarea, făcută prin măsurători în infraroșu, că Jupiter radiază în spațiu de două ori mai multă căldură decît primește. El are o sursă internă de căldură, rest al căldurii procesului de formare inițial. Încă nu demult au fost astronomi care concepeau sistemul Soare-Jupiter ca pe o „stea dublă".

Există specialiști care atribuie căldura internă procesului de contracție gravitațională, ce ar continua și astăzi la această planetă și ar conduce la creșterea temperaturii. În cadrul acestui proces se formează stelele, prin declanșarea în miezul unui nor de gaz cosmic a reacțiilor nucleare. După această teorie, Jupiter ar putea deveni o stea în vreo trei miliarde de ani. Alți oameni de știință susțin că, fiind lichidă, această planetă nu se poate contracta, ci se răcește lent. Doar dacă ar fi fost ceva mai masivă, contracția de după momentul formării ar fi putut duce la o creștere a temperaturii în centrul ei și la declanșarea reacțiilor nucleare ce caracterizează stelele. Acest astru ar putea fi considerat atunci „planeta care nu a izbutit să devină stea".

Jupiter este o planetă lichidă, acoperită de nori, are 14 sateliți în jurul ei, din care trei mai mari ca Luna. Este o planetă neobișnuită, a cărei perioadă de revoluție coincide aproximativ cu cea de activitate solară. Să trecem în revistă ce știm în esență despre acest gigant.

În anii 1973–1974, stații Pioneer au fotografiat planeta, trecînd pe lîngă ea la 100 000 km distanță și fiind primele obiecte artificiale ce vor părăsi sistemul solar. Două stații Voyager, lansate în 1977, vor trece din nou în 1979 pe lîngă Jupiter, urmînd ca un an mai tîrziu să transmită date despre inelele lui Saturn și, poate în 1989, despre Neptun. O misiune similară cu Viking de pe Marte va atinge poate planeta Jupiter în 1981. Jupiter se rotește rapid (în 9 ore și 55 de minute), în ciuda masei sale mari. Deși densitatea este foarte mică (1,33 g/cm³), prin masa ei enormă a reținut elementele ușoare, în particular hidrogenul și heliul. Pe Jupiter un om de 75 kg ar cîntări 175 kg!

O caracteristică importantă a planetei este cîmpul său magnetic puternic, de 10 ori mai intens ca al

Pămîntului, ceea ce ne duce cu gîndul la prezența în interior a unui fluid în mișcare, bun conducător de electricitate, după modelul terestru. Vom vedea că metalul acesta nu este fierul ci ... hidrogenul. Axa cîmpului magnetic este înclinată cu 11° față de cea de rotație și tocmai fenomenele de radioemisie provocate de acest cîmp au fost acelea care au confirmat rapiditatea rotației. Planeta este turtită (grad de turtire: 1/15) din cauza rotației rapide, iar axa de rotație este înclinată cu numai 3°4′ față de planul orbitei, din care cauză pe Jupiter nu se produc anotimpuri.

Conceptul științific de care ne servim în studierea unui obiect complex este modelul. Pentru Jupiter s-a construit un model considerat a fi cel mai probabil, pe baza datelor ce le avem despre planetă. Pornindu-se de la ideea că planeta posedă abundența elementelor chimice din Soare (de exemplu, la un atom de heliu sînt 10 de hidrogen), s-a dedus că Jupiter are un miez relativ redus, constituit din fier și silicați la temperatura de 30 000 K, înconjurat de o zonă de hidrogen atomic lichid, metalic, pînă la distanța de 46 000 km de centrul planetei, după care urmează un strat de hidrogen molecular lichid, cu grosimea de 24 000 km. Este vorba de două stări fizice deosebite ale hidrogenului lichid, cea metalică urmînd a fi realizată în laborator, deoarece necesită presiuni uriașe. Tranziția între aceste stări se produce la 3 milioane de atmosfere și la temperatura de 11 000 K. O atmosferă de 1 000 km grosime înconjoară hidrogenul fluid, neexistînd o limită bine conturată de separare între fluid și gaz. Atmosfera este formată din hidrogen și heliu, la temperaturi sub 0 °C și presiuni de cîteva atmosfere, cu condensări de nori de cristale de gheață și de hidrosulfură de amoniu, apoi, mai sus, la —120° și 0,5 at, de amoniac. Ceea ce observăm este limita

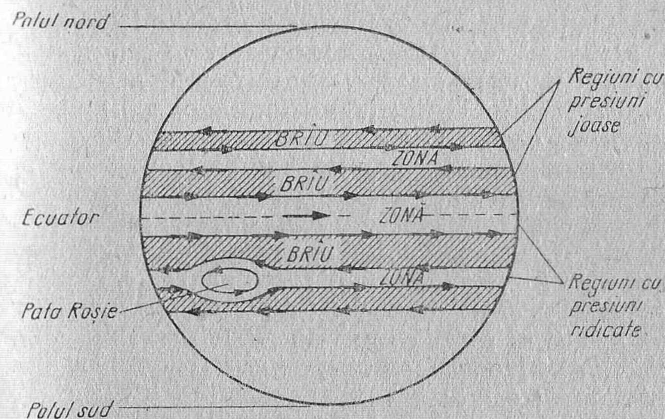


Fig. 17. Clima pe planeta Jupiter: modelul circulației atmosferice.

exterioară a acestei atmosfere, sub forma unor brîuri paralele cu ecuatorul planetei, late de 10 000 km. În permanență se văd patru „benzi" roșii-cafenii și cinci „zone" alb-gălbui, iar la latitudinile de peste 45° această configurație dispare.

Atmosfera planetei a fost extraordinar de stabilă în ultima sută de ani în care avem observații asupra ei. Faimoasa Pată Roșie este cunoscută de 300 de ani și, în acest răstimp, nu și-a modificat aspectul. În fig. 17 se prezintă modelul circulației atmosferice pe Jupiter, care constituie un laborator uriaș pentru meteorologie. „Benzile" întunecate sînt regiuni de gaz rece, la presiuni joase, în mișcare descendentă, ciclonică; „zonele" sînt regiuni calde, la presiuni înalte, în mișcare ascendentă, anticiclonică.

Atmosfera Pămîntului prezintă diferențe de temperatură între ecuator și poli și de aceea este instabilă; nu acesta este cazul pe Jupiter, unde căldura

emisă de planetă este cam aceeași peste tot. Diferența de iluminare, mai redusă la poli, este compensată de căldura din interior, care atinge suprafața planetei mai ales pe la poli. Circulația atmosferică pe Jupiter se aseamănă cu circulația curenților din oceanele globului terestru, unde apa prezintă diferențe de temperatură între straturi. Vînturile pe Jupiter se formează sub influența forței Coriolis, care transformă curenții verticali de convecție (de mișcare a întregii mase gazoase) într-o circulație spre vest, în lungul marginilor dinspre ecuator ale zonelor, și spre est, în lungul laturilor dinspre pol ale acestora. Este probabil că zonele și benzile sînt continuarea unor curenți de convecție ce vin din interiorul planetei. Pata Roșie este un imens ciclon, o furtună permanentă, care aparține tipului „zonelor". Lățimea ei este de 13 000 km, lungimea de 34 000 km, astfel că Pămîntul ar intra de 3 ori în lungul ei... Pata Roșie este situată la latitudinea de 22°, dar are deplasări periodice în longitudine. Culoarea ei este atribuită fosforului, dar stabilitatea ei este încă neexplicată în întregime. Au fost fotografiate și pete roșii mai mici, care dispar însă după cîțiva ani.

Atmosfera se mișcă cu viteza de rotație a planetei; perioada ei de rotație este însă în zona ecuatorului cu 5 minute mai mare decît a planetei, iar un calcul simplu arată că viteza norilor, diferă de viteza de rotație a planetei cu 430 km/oră. Pentru studiul atmosferei înalte a lui Jupiter s-a profitat în anul 1971 de faptul că o stea strălucitoare (β din constelația Scorpionul) a fost ocultată de Jupiter (ocazie ce se prezintă o dată la zece secole); s-au găsit temperaturi relativ mari (300 K, la o înălțime de 350 km).

Jupiter are în jurul său două cîmpuri magnetice, dintre care unul este sferic și se rotește cu planeta, întinzîndu-se pînă la 1,5 mil. km distanță și avînd o

polaritate inversată (sudul este în sus, opus polului sud „geografic"). Celălalt este un cîmp exterior, intens, foarte turtit, care ajunge pînă la 15 milioane de kilometri de planetă. Emisia radio a lui Jupiter se explică prin mișcarea spirală a electronilor în cîmpul magnetic, ce emit astfel radiația sincrotronă. Ca și Pămîntul, Jupiter are o magnetosferă, a cărei configurație rezultă din interacția vîntului solar cu particulele electrizate captate de cîmpul magnetic al planetei. La fel, în jurul lui Jupiter există centuri de radiație formate din electroni (80%) și protoni (20%), de intensități atît de mari încît nici un astronaut n-ar putea pătrunde vreodată prin acest baraj. Radiațiile sînt aici de 10 000 de ori mai intense decît în centurile Van Allen din jurul Pămîntului.

Dincolo de Jupiter se află planetele îndepărtate, neexplorate pînă acum: Saturn, cu inelele sale, Uranus, de asemenea cu inele (descoperite în anul 1977), Neptun și Pluto, cel mai puțin cunoscut.

Saturn este ca mărime a doua planetă din sistemul solar și, de aceea, în ciuda depărtării, se vede și cu ochiul liber. Se aseamănă foarte mult cu Jupiter, chiar și în privința existenței unei sur.e interne de căldură care, emisă în afara planetei, depășește cantitatea de căldură primită de la Soare. Atît modelul de atmosferă, cît și cel de interior sînt similare celor ale lui Jupiter. Deosebirea constă în faptul că fîșiile paralele de nori sînt mai puține și mai șterse, temperatura norilor mai joasă (—160 °C), iar densitatea planetei mai mică decît a apei (0,7 g/cm^3).

Concluziile asupra structurii planetelor se bazează pe cîteva date, dintre care densitatea este foarte importantă. Pentru planetele îndepărtate, masa se determină din perioada lor orbitală și din perturbațiile produse asupra mișcării sateliților lor. Cu ocazia unei ocultații stelare, se pot măsura cu precizie diametrele

planetelor. Se calculează apoi volumul și densitatea, de unde se apreciază și proporția elementelor chimice din componența planetei.

Atmosfera lui Saturn cuprinde, potrivit determinărilor spectroscopice: metan, amoniac, argon; hidrogenul lichid constituie însă elementul predominant al planetei (85%). Miezul este probabil pietros, de mărimea Pămîntului. Saturn are 10 sateliți, dar aspectul său deosebit este dat de prezența faimoaselor inele, descoperite de Galilei în 1610. Sînt patru inele concentrice care au în total un diametru de 280 000 km, dar o grosime ce nu depășește 20 km. Cel mai recent descoperit (în 1969) este foarte aproape de norii planetei.

Inelele, a căror priveliște de pe unul din sateliții lui Saturn ar fi pentru ochii pămîntenilor cu totul excepțională, sînt de fapt formate din milioane de mici pietre satelite, înfășurate în gheață, care se învîrtesc cu repeziciune în jurul planetei.

Uranus nu mai este vizibilă cu ochiul liber. Ea călătorește 85 de ani în jurul Soarelui pentru a executa o revoluție, dar prezintă un fenomen curios: o rotație în sens retrograd (fig. 18). Probabil că axa lui a fost adusă, printr-o ciocnire, în situația de acum, adică aproape culcată în planul orbitei sale. Din direct, sensul rotației, privind de sus, a devenit retrograd. Ziua în apropierea polilor, durează cîte jumătate de „an" (42 de ani tereștri), în care timp Soarele se ridică pe cer într-o mișcare spirală, de la orizont pînă la zenit, coborînd apoi tot în spirală. În cealaltă jumătate de „an" este întuneric. Este tot o planetă gigantă, cu un miez de roci și gheață care constituie 60% din volumul total, înconjurat de o manta de hidrogen lichid.

Un eveniment al anului 1977 l-a constituit descoperirea a 6 inele în jurul lui Uranus, asemănătoare

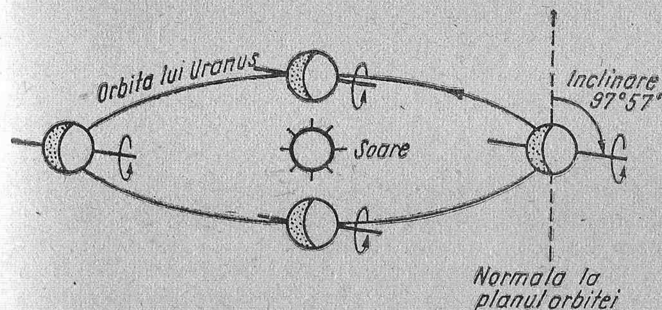


Fig. 18. Înclinarea axei planetei Uranus față de planul orbitei sale.

cu cele ale lui Saturn. Cu ocazia ocultației unei stele (SAO 158687) de către Uranus, s-a făcut analiza spectroscopică necesară obținerii de date asupra dimensiunii, rotației și atmosferei planetei. Strălucirea stelei a prezentat însă întreruperi atît la intrarea ei în spatele planetei, cît și la ieșire. Din studiul acestora, a reieșit că sînt cinci inele late de 10–12 km, de 1 km grosime (foarte aplatizate, ca și la Saturn) și un al șaselea, exterior, lat de 80 km și gros de 10 km. Distanța celui mai apropiat inel de norii de la suprafața planetei este de 18 000 km, iar a ultimului de 26 000 km. Sînt milioane de pietre acoperite de gheață, de dimensiuni care pot ajunge la sute de metri, resturi ale vreunui satelit care a ajuns prea aproape de planetă și s-a fărîmițat sub influența mareelor exercitate de aceasta. Se știe că există o distanță caracteristică (limita Roche), față de orice planetă, sub care corpurile se fragmentează; calculul fixează această limită la 2,44 raze planetare; or, atît inelele lui Saturn cît și ale lui Uranus se situează în interiorul acestei distanțe.

Uranus are cinci sateliți, destul de mari pentru ca doi din ei să fi fost descoperiți încă din 1877, de W. Herschel.

Neptun este o planetă foarte îndepărtată: revoluția ei durează 165 de ani, iar frigul este și mai stăpîn aici decît pe celelalte planete gigante. Are o structură asemănătoare cu acestea, dar posedă numai doi sateliți, dintre care unul, Triton, cu raza de 2 500 km, este considerat de astronomi ca o planetă captată.

Pluto, ultima planetă din sistemul solar, constituie o excepție. Ea nu mai este o planetă gigantă (nu e mai mare ca Triton), iar densitatea ei este mai mare; nu se cunosc cu precizie date despre ea. Se rotește în 6 zile și 9 ore, iar o revoluție durează aproape 248 de ani. Orbita ei este puternic înclinată față de planul eclipticii (17°) și, prin aceasta, este singura planetă care iese în afara brîului constelațiilor zodiacale. Excentricitatea orbitei este de asemenea mare (0,25), astfel că uneori se apropie mai mult de Soare decît însuși Neptun. Dealtfel, orbitele acestora se împletesc, dar nu se întîlnesc niciodată deoarece se află una față de cealaltă într-un fenomen de rezonanță: raportul perioadelor de revoluție se exprimă prin $\frac{2}{3}$.

Pluto ne pare într-adevăr foarte îndepărtată. Totuși, dacă un pămîntean ar privi de pe ea constelațiile cerului, ar constata că acestea sînt aceleași, într-atît de departe sînt stelele.

8. CORPURILE MICI ALE SISTEMULUI SOLAR

Cu cele nouă planete mari, despre care am vorbit pînă acum, nu se încheie numărul obiectelor din sistemul solar și, în particular, al celor ce candidează la titlul de planete, membre ale acestui sistem. Într-adevăr, mai dau ocol Soarelui un mare număr de *mici planete*, pe care le mai denumim și *asteroizi*. În plus, milioane și milioane de comete se mișcă sub acțiunea atracției solare. Vom rezerva însă capitolul următor pentru comete.

Populațiile de corpuri mici din sistemul solar sînt studiate în prezent în funcție de modul în care ele se grupează, potrivit caracteristicilor lor generale. Cel mai important grup este cel al micilor planete din inelul principal (fig. 19). Cel dintîi asteroid (și cel mai mare), *Ceres*, a fost descoperit în prima noapte a secolului trecut (1 ianuarie 1801), exact la distanța de 2,8 unități astronomice prezisă de „legea" Titius-Bode pentru următoarea planetă după Marte. O altă planetă mică, *Pallas*, are o orbită asemănătoare dar, în general, asteroizii din inelul principal sînt situați în zona dintre 2,1 și 3,5 unități astronomice, nemaiurmînd șirul Titius-Bode (tabelul 3). Orbitele lor au în medie excentricități de 0,14, rar depășind valoarea 0,25, iar înclinările lor față de ecliptică

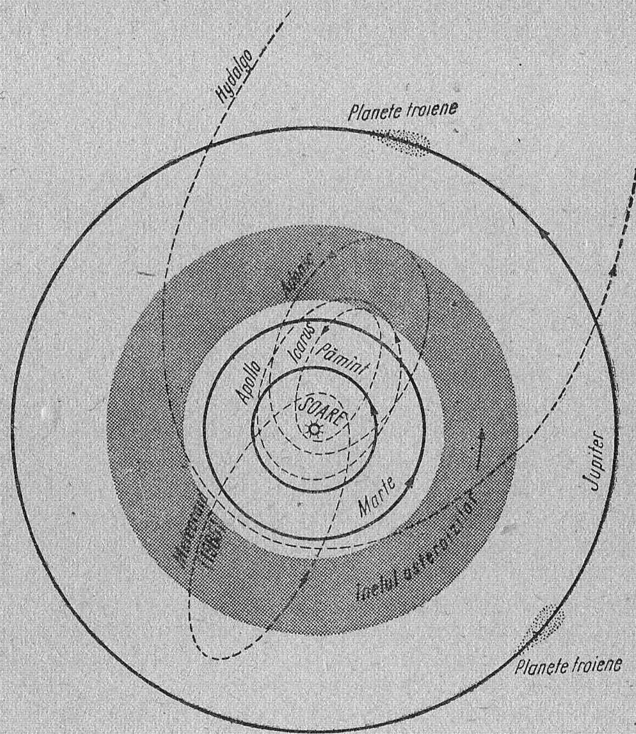


Fig. 19. Orbitele unor mici planete în sistemul solar. Au fost figurate, de asemenea, planetele troiene şi orbita unui meteoroid fotografiat în 1965.

rămîn între 0 şi 7°, puţine avînd peste 25°. Rotaţia asteroizilor se efectuează în 4,5—11,5 ore, iar perioada revoluţiei este de cîţiva ani. În total se cunosc peste 2 500 de asteroizi, din care 70 au diametre de peste 100 km. Toţi la un loc nu ating o miime din masa Pămîntului. Este interesant că Ceres şi Pallas au

Tabelul 3

Proprietăţile fizice şi mărimile orbitale ale unor asteroizi

Denumirea	*Raza (km)*	*Masa (g)*	*Perioada de rotaţie (h)*	*Perioada de revoluţie (d)*	*Semiaxa mare (UA)*	*Excentricitatea*	*Înclinarea orbitei faţă de ecliptică (grade de arc)*
Ceres	567	$1,2 \cdot 10^{24}$	9,07	1681	2,767	0,079	10°,6
Pallas	350	$3,0 \cdot 10^{23}$	—	1684	2,767	0,235	34°,8
Juno	98	$1,4 \cdot 10^{22}$	7,21	1594	2,670	0,256	13°,0
Vesta	285	$2,4 \cdot 10^{23}$	5,34	1325	2,361	0,088	7°,1
Hebe	116	$2,4 \cdot 10^{22}$	7,74	1380	2,426	0,203	14°,8
Iris	110	$2,1 \cdot 10^{22}$	—	1344	2,385	0,230	5°,5
Hygeia	127	$3,1 \cdot 10^{22}$	—	2042	3,151	0,099	3°,8
Eunomia	140	$4,1 \cdot 10^{22}$	6,08	1569	2,645	0,185	11°,8
Psyche	106	$1,8 \cdot 10^{22}$	4,30	1826	2,923	0,135	3°,1
Nemausa	46	$1,5 \cdot 10^{21}$	7,78	1330	2,366	0,065	9°,9
Eros	8*	$9,0 \cdot 10^{18}$	5,27	642	1,458	0,223	10°,8
Davida	97	$1,4 \cdot 10^{22}$	5,17	2072	3,182	0,177	15°,7
Icarus	0,7	$5,2 \cdot 10^{15}$	2,27	408	1,077	0,827	23°,0
Geographos	1,6	$6,2 \cdot 10^{15}$	5,22	507	1,244	0,335	13°,3
HA Apollo	0,5	$2,0 \cdot 10^{15}$	—	662	1,486	0,566	6°,4
CA Adonis	0,15	$5,0 \cdot 10^{13}$	—	1008	1,969	0,779	1°,5
UB Hermes	0,3	$4,0 \cdot 10^{14}$	—	535	1,290	0,475	4°,7

* Mulţi asteroizi nu sînt sferici; de exemplu, Eros are trei axe diametrale de 13,15 şi, respectiv, 36 km.

densităţi mici (1,6—1,7 g/cm³), ceea ce ne face să credem că sînt parţial pietroşi şi acoperiţi cu gheaţă. Mai există mii şi mii de asteroizi cu diametre sub un kilometru, dar circa 80% din masa lor totală este concentrată în patru asteroizi mari.

Asteroizii au o structură foarte variată, iar după mişcarea lor îi putem grupa în familii care posedă excentricităţi şi înclinări apropiate ale orbitelor. Astfel, o altă populaţie de asteroizi, mai răzleţită faţă de inelul principal, o constituie grupul *Amor*, care intersectează orbita lui Marte, dar nu şi pe a Pămîntului, precum şi grupul *Apollo*, care intersectează ambele orbite. Aceştia ating distanţe mai mari faţă de Soare, au excentricităţi între 0,3 şi 0,95 şi înclinări ale orbitei pînă la 30°. Caracteristicile acestea le au, dealtfel, şi cometele de perioadă scurtă. S-au identificat 23 de asteroizi Apollo, avînd dimensiuni între 200 m şi cîţiva kilometri. Apollo însuşi este o planetă mică care a trecut la 3 milioane de kilometri de Pămînt, în anul în care a fost descoperită (1932). Precizăm că apropierea maximă de Pămînt a lui Marte este de 54 mil. km iar a lui Venus de 37 mil. km. Apollo se apropie de Venus la 200 000 km — cea mai mică distanţă între două planete (egală cu jumătatea drumului de la Pămînt la Lună). *Adonis*, descoperit în 1936, cînd se afla la 1,5 mil. km de Pămînt, are o excentricitate mare (0,78), iar *Icarus*, descoperit în 1949, are excentricitatea 0,83 şi este asteroidul care se apropie cel mai mult de Soare — fapt de la care îi vine şi numele. Iar *Hermes*, descoperit în 1937, se apropie de Pămînt pînă la 800 000 km!

Obiectele mici ale sistemului solar se bucură astăzi de un interes deosebit din partea specialiştilor. Progresul tehnicilor de observaţie — mai ales în domeniul infraroşu — şi al tehnicilor de analiză a

materialului meteoritic şi lunar a condus la concluzia că studiul aşa-numitelor corpuri mici ale sistemului solar poate furniza informaţii prin care să se facă legătura între prezent şi trecut. Cînd am vorbit de aspectul planetelor interioare am accentuat asupra trecutului acestora, în care au avut de suferit ciocniri numeroase şi puternice cu corpuri avînd diametre chiar de 100 km, acum peste 4 miliarde de ani, epocă după care „bombardamentul" cosmic s-a diminuat.

Şi în epoca noastră, resturi de asteroizi fărîmiţaţi formează curenţi meteorici şi obişnuim să numim aceste corpuri care pot traversa atmosfera terestră — *meteoroizi*. Chiar un asteroid sau o cometă, care intersectează atmosfera Pămîntului, venind de la mari depărtări, poartă denumirea de „meteoroizi"; ei devin „meteoriţi" în momentul în care cad pe o planetă. Astfel, un meteoroid de 1000 t a traversat razant atmosfera Pămîntului în 1972, continuîndu-şi apoi drumul. Dacă ar fi căzut pe Pămînt ar fi făcut un crater de 100 m diametru, deşi era un corp doar de 10 m diametru! Asteroidul „1976 AA", cu diametrul în jur de 3,5 km, a trecut în ianuarie 1976 aproape de Pămînt, avînd orbita situată aproape în interiorul orbitei pămînteşti (periheliul la 0,79 UA şi afeliul la 1,014 UA) şi perioada de revoluţie de 346,8 zile. S-au calculat orbitele cîtorva meteoroizi ce provin din astfel de asteroizi, şi care au intersectat atmosfera terestră superioară, căzînd pe Pămînt sub formă de meteoriţi. Noroc că 3 din 4 meteoriţi cad în oceane...

În trecutul planetei noastre au existat ciocniri chiar mai „recente" cu astfel de corpuri. De exemplu, în Kazahstan s-a recunoscut urma unui crater larg de 700 km, provocat acum 400 de milioane de ani; de asemenea, în Antarctica, s-a dedus existenţa unui crater cu diametrul de 225 km şi adîncimea de 800 m,

rezultat acum 600 000—700 000 de ani din ciocnirea cu Pămîntul a unui meteorit cu diametrul în jur de 4 km, cîntărind multe miliarde de tone. După cum vedem, astfel de evenimente sînt foarte rare și am putea să considerăm mai degrabă meteoriții nu ca amenințări, ci ca obiecte foarte interesante pentru cercetarea științifică. Ca să dăm un singur exemplu, să menționăm descoperirea probabilă a elementului chimic 114 într-un meteorit; acest element nu fusese găsit pe planeta noastră căci, după cum se știe, elementul natural cu cel mai mare număr de ordine (92) este uraniul. Dar elementul 114 are un nucleu atomic ce se bucură de o stabilitate specială și teoreticienii bănuiau că ar putea fi descoperit în natură.

Există o categorie de asteroizi cu excentricitatea foarte mare; printre aceștia, putem să-l menționăm pe Hydalgo (vezi fig. 19), descoperit în 1920, care ajunge aproape pînă la orbita lui Saturn. El posedă față de ecliptică înclinarea de 43°. În acest gen de mișcare se încadrează și cometele de perioadă lungă, despre care vom discuta în capitolul următor.

Să amintim apoi populațiile mici, cum sînt asteroizii de tip *Hilda* (orbite cu excentricități de 0,2, înclinări de 10° și semiaxe mari în jur de 3,95 UA), asteroizii de tip *Hungaria* (excentricități de 0,1, înclinări sub 25° și semiaxe mari de 1,9 UA), dar cei mai interesanți sînt asteroizii care însoțesc planeta Jupiter. Acest ultim grup, cunoscut sub numele de *planete troiene*, întrucît poartă nume de eroi din Iliada, se mișcă chiar pe orbita lui Jupiter, pe care se găsesc captați. Acești tovarăși de drum ai planetei gigante, din care se cunosc 14, se grupează în două puncte aflate în unghiuri de 60° înaintea și în urma planetei. Înaintea planetei se mișcă de două ori mai mulți asteroizi ca în urma ei. Acest triunghi planetar fix

este foarte stabil și nici un asteroid nu ar putea să-și părăsească poziția. Locurile ocupate de planetele troiene sînt exact în „punctele lui Lagrange", denumite astfel după numele matematicianului francez care a prevăzut teoretic existența unor configurații gravitaționale de acest tip. O confirmare a acestor puncte de stabilitate este descoperirea în ultimii ani a unor acumulări de praf, gaz și poate particule mai mari, situate în punctele lui Lagrange de pe orbita Lunii.

Asteroizii sînt corpuri care fie că nu au avut timp să se unească pentru a forma o planetă, fie că provin dintr-o planetă ce s-a fragmentat, ambele ipoteze avînd susținători.

Să trecem acum la alte corpuri „mici" ale sistemului solar, și anume la sateliții planetelor, dintre care 4 sînt chiar mai mari ca planeta Mercur. În secolul nostru s-au descoperit 12, astfel că astăzi cunoaștem 34 de sateliți. Să observăm de la început că planetele interioare nu au practic sateliți (Luna fiind o excepție). Planetele de dincolo de Marte au numeroși sateliți. Să ne amintim cele spuse în cap. 2 cu privire la o regulă generală constatată în sistemul solar, și anume faptul că ei se mișcă în planul ecuatorial al planetei respective. Așa cum Soarele are ca sateliți planetele, acestea la rîndul lor au sateliți, formînd mici sisteme planetare. Se remarcă în plus că sateliții cei mai apropiați de o planetă sînt mai mici, următorii sînt mai mari, iar ultimii au o configurație neregulată — tot așa cum se petrec lucrurile cu planetele: primul grup este constituit din planete mici, următorul din planete mari, iar ultima, Pluto, are o orbită neobișnuită. Iată un aspect pe care teoriile cosmogonice trebuie să-l explice.

Să urmărim în tabelul 4 datele, observînd cum sateliții mai depărtați de o planetă au excentricități

Tabelul 4

Date relative la sateliții planetelor

Nume	Anul descoperirii	Semiaxa mare a orbitei (Raza planetei = 1)	Semiaxa mare a orbitei (10^3 km)	Direcția de mișcare (față de rotația planetei)	Excentricitatea orbitei	Înclinarea orbitei	Perioada de revoluție siderală (d)	Diametrul (km)	Masa (g)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				PĂMÎNT					
Luna	—	60,27	384,40	același sens	0,055	5°8′,7	27,322	3476	$7,35 \cdot 10^{25}$
				MARTE					
Phobos	1877	2,82	9,38	același	0,021	1°,1	0,319	27/21/19	?
Deimos	1877	7,06	23,53	același	0,003	0°,9—2°,7	1,262	15/12/11	?
				JUPITER					
Amalthea	1892	2,5	180,5	același	0,003	[0°, 4]	0,498	(160)	?
Io	1610	5,9	421,6	același	0,000	[0′, 11]	1,769	3640	$8,9 \cdot 10^{25}$
Europa	1610	9,4	670,8	același	0,000	[1′, 03]	3,551	(3010)	$4,86 \cdot 10^{25}$
Ganymede	1610	15,0	1070,5	același	0,002	[5′, 22]	7,155	5200	$1,49 \cdot 10^{26}$
Callisto	1610	26,4	1882,9	același	0,007	[25′,75]	16,69	4900	$1,06 \cdot 10^{25}$
	1904	160,8	11470	același	0,158	28°, 4	250,6	(140)	?
	1938	166	11850	același	0,130	28°, 8	263,6	(20)	?
	1905	165	11800	același	0,207	27°, 8	259,7	(40)	?
	1951	297	21200	sens opus	0,169	146°, 7	631,1	(20)	?
	1938	316	22600	sens opus	0,207	163°, 4	692,5	(20)	?
	1908	329	23500	sens opus	0,378	148°, 2	738,9	(30)	?
	1914	332	23700	sens opus	0,275	153°, 0	758	(20)	?
				SATURN					
Inel	1610	1,48—2,26	72—139	?	0	[0]	0,4—0,7	—	($<2,5 \cdot 10^{25}$)
Ianus	1966	2,65	158	același	0	[0]	0,749	(350)	$1,6 \cdot 10^{22}$
Mimas	1789	3,07	185,4	același	0,020	[1°,5]	0,942	(600)	$3,8 \cdot 10^{22}$
Encelade	1789	3,95	237,9	același	0,004	[0]	1,370	(600)	$7,5 \cdot 10^{22}$
Thetys	1684	4,88	294,5	același	0,000	[1°,1]	1,888	1000	$6,3 \cdot 10^{23}$
Dione	1684	6,25	377,2	același	0,002	[0]	2,737	(1200)	$10,6 \cdot 10^{23}$
Rhea	1672	8,73	527,20	același	0,001	[0°,4]	4,518	1300	$2,3 \cdot 10^{24}$
Titan	1655	20,25	1221	același	0,029	[0°,3]	15,95	4950	$1,41 \cdot 10^{26}$
Hyperion	1848	24,53	1479	același	0,104	[0°,4]	21,28	(400)	$3,1 \cdot 10^{23}$
Iapet	1675	59,01	3560	același	0,028	18°,4	79,33	(1300)	$1,0 \cdot 10^{24}$
Phoebe	1898	215	12945	sens opus	0,163	175°,1	550,45	(300)	?

Continuare (tabelul 4)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
URANUS									
Inele	1977	0,7–1	18–26	?	?	?	?	—	?
Miranda	1948	5,10	123	același	0	[0]	1,41	(500)	$1,3 \cdot 10^{24}$
Ariel	1851	7,94	191,7	același	0,003	[0]	2,521	(1000)	$5 \cdot 10^{23}$
Umbriel	1851	11,06	267,0	același	0,004	[0]	4,144	(700)	$4,3 \cdot 10^{24}$
Titania	1787	18,14	438,0	același	0,002	[0]	8,706	(1600)	$2,6 \cdot 10^{24}$
Oberon	1787	24,26	585,9	același	0,001	[0]	13,463	(1400)	$1,1 \cdot 10^{23}$
NEPTUN									
Triton	1846	15,5	353,4	sens opus	0	[160°]	5,877	(4000)	$2,06 \cdot 10^{26}$
Nereida	1949	245	5560	același sens	0,749	[27°, 8]	359,881	(300)	$3 \cdot 10^{22}$

Observații : Coloana a 7-a prezintă înclinarea orbitei satelitului pe cea a planetei sau, între paranteze drepte [ ], înclinarea pe ecuatorul planetei. Parantezele obișnuite arată că datele respective sînt aproximative. Diametrele unora din sateliți nu sînt în general determinate cu precizie, iar în cazul sateliților lui Marte, care nu sînt sferici, s-au prezentat dimensiunile pe trei direcții. Numărul sateliților lui Jupiter se cifrează la 14, ultimii doi fiind descoperiți în 1974 și, respectiv, 1975.

și înclinări mari ale orbitei, prezentînd foarte frecvent o mișcare de revoluție în sens retrograd. De exemplu, cei patru sateliți mai mari din jurul lui Jupiter (*sateliții galileeni*) au orbite circulare și situate în planul ecuatorului planetei, iar cei exteriori au orbite neregulate și deformate datorită perturbațiilor. Sateliții exteriori ai lui Saturn au, de asemenea, orbite neregulate. Uriașul satelit al lui Neptun, Triton, este probabil o planetă captată. Să descriem unii din sateliții cei mai interesanți, nu înainte de a le privi comparativ dimensiunile în fig. 20.

Precum știm, Marte are doi sateliți, pe orbite practic circulare situate în planul ecuatorului planetei. Ei nu mai prezintă nici un mister de cînd au fost „văzuți" de la cîteva zeci de kilometri de modulele Viking aflate în 1977 pe orbită în jurul planetei. *Phobos* a fost descoperit exact cu 100 de ani în urmă, dar de-abia astăzi știm că are o formă neregulată, densitatea de 2,3 g/cm^3 și se confirmă că mișcarea lui este accelerată pe orbita lui situată la limita zonei Roche, fapt care-l va face să se prăbușească, după 100 de milioane de ani, pe Marte. Este un corp foarte vechi (avînd o vîrstă de aproape 3 miliarde de ani), ce prezintă cratere enorme, de pînă la 10 km în diametru (deși lungimea lui este doar de 27 km). Suprafața este acoperită cu un nisip foarte fin, iar satelitul prezintă zgîrieturi mari în lungime, avînd lățimea de 100–200 m și lungimea de peste 10 km, ca și cum ar fi fost lovit razant de obiecte care se găseau tot pe orbita sa. Ca și Luna, Phobos prezintă mereu aceeași parte planetei în jurul căreia se rotește : mișcarea de rotație s-a cuplat cu cea de revoluție. Colegul său mai mic, *Deimos*, situat mai departe, are de asemenea o formă neregulată de bolovan. Cei mai mulți specialiști înclină spre ipoteza că sateliții lui Marte sînt asteroizi captați, deși

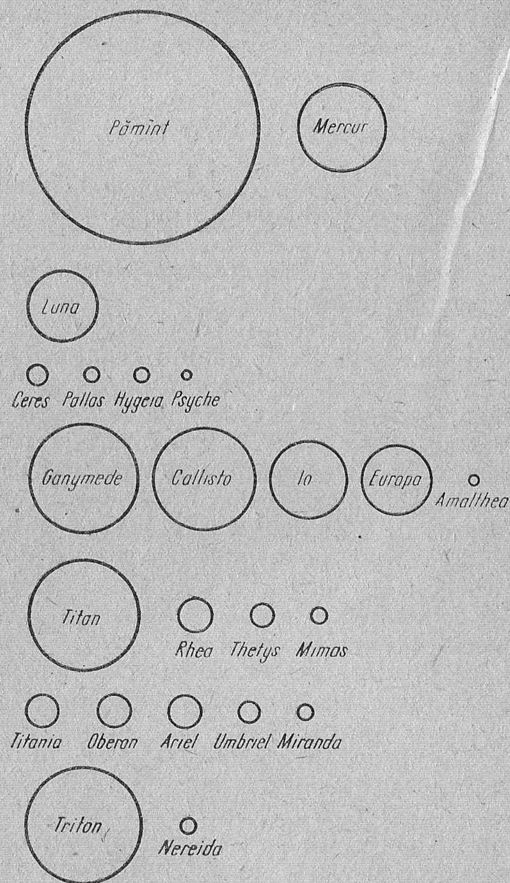


Fig. 20. Dimensiunile comparative ale Pămîntului, Lunii, planetei Mercur, ale unor mici planete și ale unor sateliți ai planetelor Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun — în ordinea mărimii.

mai există posibilitatea ca să fie rămășițele unui satelit care s-a fragmentat sau bucăți formate de la bun început în preajma planetei, prin aglomerarea resturilor de materie din nebuloasa inițială.

Unul din sateliții lui Jupiter, *Io*, este foarte interesant, nu numai prin trecutul său în istoria științei. Să amintim că sateliții lui Jupiter au fost utilizați de astronomul danez O. Roemer în secolul al XVII-lea pentru a calcula viteza luminii. Acest satelit este cel mai mic obiect din sistemul solar posedînd o atmosferă. Raza lui este de 1820 km, iar densitatea în jur de 3,5 g/cm^3; or, Luna este cam la fel de mare, neavînd însă atmosferă. Io prezintă calote polare de culoare roșcată (conținînd probabil sulf), iar suprafața lui pare acoperită cu sare de sodiu dizolvată în gheață de amoniac la —120°C. Acest amestec se disociază sub influența razelor ultraviolete și produce o atmosferă de azot și hidrogen, conținînd și cantități de sodiu. Gazele rezultate scapă atracției satelitului, dar rămîn în lungul orbitei sale; de aceea se spune că Io este o lampă cu vapori de sodiu. Ionosfera este intensă și variază în concordanță cu mișcarea satelitului față de Jupiter.

Saturn, pe lîngă inelele sale spectaculoase, posedă, printre cei 10 sateliți ai săi, un corp hibrid, *Titan*, mare cît planeta Mercur, care nu se aseamănă ca structură nici cu o planetă gigantă, nici cu una interioară. Are o atmosferă de metan, hidrogen, azot și amoniac, iar scoarța sa este de gheață acoperită de metan lichid și amoniac la —150°C. Nu se știe cum reușește să rețină hidrogenul, ca și proveniența acestuia. Iradierea unei astfel de atmosfere cu razele ultraviolete ce vin de la Soare poate produce molecule organice și, de aceea, sînt prevăzute trimiteri de stații spațiale în atmosfera lui Titan și chiar, în următorii 10 ani, aterizări pe acest satelit.

9. COMETELE, OASPEŢI NEANUNŢAŢI

Poate că nici un fenomen ceresc nu impresionează mai mult imaginaţia oamenilor decît apariţia unei comete. Pe lîngă obiectele astronomice cu care sîntem obişnuiţi — Soarele, Luna, planetele, stelele —, ale căror mişcări pe bolta cerească sînt determinate de legi avînd o mare stabilitate, apariţia unei „stele cu coadă" ne produce mirare şi încîntare. Rămîne întipărită în memorie dîra luminoasă cu tendinţa de a se lăţi ca un evantai, ocupînd un petec apreciabil de cer, acolo unde pînă înainte nu se vedeau decît stele cunoscute de cînd lumea. Au fost, bineînţeles, vremuri în care apariţia unei comete era interpretată ca un „semn rău". Savanţii au trebuit să lupte din răsputeri pentru a demonstra că, de fapt, cometele nu aduceau mai multe nenorociri decît... fuseseră şi înainte.

Din cauza apariţiei lor surprinzătoare, adevărata natură a cometelor nu a fost uşor de înţeles. Filozoful Aristotel (sec. 4 î. e.n.) credea că ele sînt fenomene de natură atmosferică. La începutul secolului al XVI-lea, s-a făcut în legătură cu cozile cometelor o primă constatare interesantă şi anume că ele sînt îndreptate întotdeauna spre partea opusă Soarelui. În acelaşi secol, astronomul Tycho Brahe a dedus

că aceste obiecte cereşti nu sînt în atmosfera Pămîntului, ci se găsesc, în orice caz, dincolo de Lună. La începutul secolului următor, Kepler s-a apropiat mai mult de adevăr cu ipoteza că aceste corpuri nu sînt solide şi, de aceea, materialele volatile din care se compun sînt respinse de radiaţia solară.

La începutul secolului al XVIII-lea, astronomul Edmund Halley a dedus că apariţiile cometelor nu sînt chiar întîmplătoare, acestea mişcîndu-se pe orbite; el a prevăzut întoarcerea cometei care-i poartă numele. Această cometă a fost văzută poate din anul 240 î.e.n. şi ea a reapărut la intervale de aproximativ 76 de ani. Ultima oară cometa Halley a fost văzută în 1910, urmînd ca ea să revină în 1986.

Pînă astăzi omenirea a văzut peste 2000 de comete, iar în vremurile noastre se observă anual în jur de 10 obiecte de acest fel, din care cele mai multe au o strălucire prea mică pentru a fi vizibile cu ochiul liber. Dar, o dată la doi ani, apare şi o cometă strălucitoare.

Aşadar, o cometă poate să apară de mai multe ori; faptul că vedem acelaşi corp înseamnă că, între timp, el s-a îndepărtat, a făcut un ocol şi s-a apropiat din nou. Orbitele cometelor nu sînt asemănătoare cu cele ale planetelor, căci dacă ar fi aşa cometele s-ar vedea în permanenţă, ca şi planetele. Orbitele lor trebuie să fie deci mult alungite, ceea ce ar explica revenirea cometelor la intervale aproximativ egale. Unde sînt situate însă aceste orbite? Bineînţeles că centrul de forţă al mişcării rămîne Soarele; cometele care revin pe cer sînt corpuri care, respectînd legile mecanicii, dau ocol astrului zilei, ca şi planetele, doar că o fac după orbite eliptice foarte turtite în comparaţie cu cele planetare. Din această cauză considerăm cometele drept membri ai sistemului solar.

Cea mai mică perioadă de mișcare în jurul Soarelui o are pînă în prezent *cometa Encke*, descoperită în 1786: 3,3 ani. Aceasta corespunde unei orbite cu periheliul la 51 milioane de kilometri de Soare, aflat în interiorul orbitei planetei Mercur, iar al cărei afeliu este la 261 milioane de kilometri, adică puțin dincolo de orbita planetei Marte. Cometa Halley se apropie la 88 milioane kilometri de Soare și se îndepărtează la 5,3 miliarde de kilometri, deci puțin dincolo de Neptun.

Să facem o precizare importantă: orbitele cometelor nu rămîn neschimbate, ele se deformează în urma perturbațiilor gravitaționale pe care le suferă din partea planetelor mari, așa că circa 48% din comete ajung să circule după orbite parabolice, și circa 13% după orbite hiperbolice, adică după orbite ce nu se închid. De fapt, două din trei comete părăsesc sistemul solar după prima lor trecere pe lîngă Soare! Cele care rămîn pe orbite circumsolare au perioade care, în medie, depășesc un secol, ceea ce înseamnă că, în mișcarea lor, se îndepărtează dincolo de limitele sistemului solar. *Cometa Kohoutek* (1973—1974), de exemplu, are o perioadă de mai bine de 10 000 de ani.

Știm că planetele se rotesc în jurul Soarelui practic în același plan. Dacă am vrea să reprezentăm orbitele cometelor în spațiu ar trebui să construim o figură complicată, cu elipse avînd toate înclinările, putînd fi chiar și perpendiculare pe planul orbitelor planetelor.

Din ce sînt constituite cometele? Ar putea niște substanțe în întregime volatile, cum bănuia Kepler, să circule pe o orbită atît timp fără să se destrame? Ceea ce știința a dedus pînă astăzi din observațiile asupra cometelor și din analiza datelor lor spectrofotometrice se poate rezuma după cum urmează. La

mai mult de 1 miliard de kilometri de Soare, adică în spațiul de dincolo de Jupiter, cometele nu sînt decît blocuri solide înconjurate de praf și gaze înghețate. Pe măsura apropierii de Soare, se eliberează gaze formînd un nimb de materie rarefiată în jurul nucleului inițial. *Nucleul*, ale cărui dimensiuni sînt de ordinul a 10 km, împreună cu acest nimb difuz, pe care-l numim *coamă*, formează *capul* cometei, care poate atinge ușor 250 000 km în diametru. În anul 1811 a apărut o cometă al cărei cap avea 1 800 000 km — mai mare decît Soarele. Din aspectul capului cometei se poate deduce în anumite cazuri și că nucleul este în rotație. *Cometa Bennett*, pe care mulți am zărit-o în primăvara anului 1970, avea un nucleu ce se rotea cu perioada de 35 de ore. Masa unei comete nu depășește o milionime din cea a Pămîntului.

Natura nucleului cometelor nu este încă bine cunoscută, deși din studiul radiației cometei rezultă că el emite radicali chimici ca CH, NH, OH, CN, C_2, C_3, NH_2. Lumina emisă de aceștia și care servește la detectarea lor își are originea în fenomenul de fluorescență produs de radiația solară. Radicalii chimici nu pot trăi multă vreme independent și, de aceea, existența lor dovedește prezența unor molecule mai mari din care provin. Ipoteza cea mai admisă astăzi este că nucleul cometelor se aseamănă cu un „bulgăre de zăpadă murdară"; el este o îngrămădire care conține particule de praf, molecule de amoniac, de metan și de acid cianhidric, toate cuprinse într-un bloc de gheață. Sub presiunea radiației solare și sub efectul vîntului solar asupra capului cometei, se dezvoltă *coada* acesteia, cu condiția ca distanța de Soare să fie sub 300 milioane de kilometri. Cînd cometa se apropie de Soare coada cometei este îndreptată înapoi, iar cînd se îndepărtează coada este îndrep-

tată în sensul mişcării. Cozile ating zeci şi chiar sute de milioane de kilometri lungime, fiind vizibile din cauza aceluiaşi fenomen de fluorescenţă.

Cometa din 1811 avea o coadă de 176 mil. km, iar o cometă din 1843 deţinea un record al cozilor — 320 mil. km (mai mult decît dublul distanţei de la Pămînt la Soare). Adeseori, coada se prezintă dublă, compusă dintr-o coadă dreaptă, albăstruie, formată din gaze ale căror molecule sînt excitate de radiaţia solară, şi o a doua, curbă, gălbuie, compusă din praf care împrăştie lumina solară. Moleculele care se detaşează de nucleul cometei sînt repede disociate de lumina ultravioletă solară, fenomen care produce radicalii chimici de care am amintit; aceştia sînt, la fel, fotodisociaţi în atomii componenţi. Foarte grea a fost detectarea moleculelor mamă (nedisociate), pentru care au fost folosite metodele radioastronomiei (întrucît emisia prezentată de aceste molecule are loc în domeniul undelor centimetrice). Drept exemple de molecule descoperite în capul cometelor se pot da CH_3CN şi H_2O, ceea ce confirmă modelul „zăpezii murdare". Totuşi, pînă în prezent, unele molecule descoperite în atmosfera planetelor mari nu au fost găsite în comete (metanul — CH_4 — sau amoniacul — NH_3).

Un fapt care merită să fie reţinut este fragmentarea nucleului cometelor. Fenomenul acesta intervine relativ des, odată cu apropierea de Soare, din cauza exploziilor ce se produc la eliberarea unor mari cantităţi de gaze în interiorul nucleului şi a efectelor de maree. Astfel, *cometa Ikeya-Seki* s-a dezintegrat în 1965, cînd se apropiase la numai 465 000 km de fotosfera solară; *cometa Biela* a apărut în 1846 scindată în două comete, care au fost observate din nou peste şase ani (interval egal cu perioada cometei) dar, la întîlnirea următoare, nici una nu a mai apărut.

Probabil că ruperea iniţială s-a produs în 1842, cu ocazia trecerii acestei comete pe lîngă Jupiter.

Este uşor să ne imaginăm prin urmare de ce unele comete nu mai revin sau îşi fac apariţiile cu o strălucire din ce în ce mai mică: la fiecare trecere, influenţa directă a Soarelui face să se piardă în spaţiu pînă la o sutime din masa unei comete.

Cometele seamănă, pe tot parcursul orbitei lor, mici fragmente de materie ce sînt la originea curenţilor meteorici pe care Pămîntul îi întîlneşte în mersul său prin spaţiu. Astfel, particulele lăsate de cometă în lungul orbitei pot pătrunde cu viteză în atmosfera terestră, evaporîndu-se imediat şi provocînd dîre de lumină pe care le numim *meteori*. Pămîntul intersectează mai mulţi curenţi de particule aflate pe orbita unor comete, care fie că au dispărut prin procesul de „uzură" descris, fie că urmează să-şi mai facă apariţia. De exemplu, stelele căzătoare dese de la jumătatea lunii august se datoresc perseidelor (de la constelaţia Perseu), resturi ale *cometei Swift-Tuttle* observată în 1862. Chiar cometa Halley lasă o dîră de particule care dau aversele meteorice din mai şi octombrie (aquaridele şi orionidele). Resturile cometei Biela dau andromedidele, iar recent meteorii produşi de curentul tauridelor au fost identificaţi ca provenind de la cometa Encke.

Să nu confundăm însă curenţii meteorici cu roiurile meteoritice pe care, de asemenea, Pămîntul le întîlneşte în calea sa şi care provin din zona asteroizilor, aşa cum am arătat în capitolul precedent.

În sfîrşit, se pune întrebarea: de unde vin cometele? Ele trebuie să provină de undeva din spaţiu şi, ceea ce se poate crede, dincolo de sistemul solar sau chiar în regiunea de dincolo de Neptun există o zonă inelară, unde materialul cometar circulă pe o orbită practic circulară în jurul Soarelui. Din

această rezervă de comete, planetele mari reușesc uneori să extragă, prin perturbări gravitaționale, corpuri care pot deveni comete periodice, dacă nu sînt accelerate prea tare de cîmpul gravitațional al unei planete (într-atît încît să părăsească sistemul solar). Cometele extrase din acest rezervor și capturate de o anumită planetă formează o „familie" de comete ; Jupiter, avînd cea mai mare masă planetară, are și cea mai numeroasă familie de acest fel. Aceasta este ipoteza dominantă în privința originii cometelor.

Materia din care provin cometele este foarte veche ; ea s-a format în același timp cu planetele. Găsindu-se la periferia sistemului solar, această materie nu a mai evoluat. Ceea ce vedem cînd apare o cometă nu este un „semn", ci un supraviețuitor din epoca îndepărtată de formare a sistemului solar, o „fosilă" cosmică de mare valoare pentru știință.

Interesul pe care oamenii de știință îl poartă cometelor se manifestă prin încercările de observare a acestora de pe sateliți artificiali sau stații spațiale. Pe această cale, s-a stabilit că în jurul cometelor se află un halo de hidrogen. Pînă în anul 2000 se vor prezenta posibilităților de studiere 23 de comete cunoscute, în 50 de ocazii. Se prevede ca în 1980 și în 1984 stații de tip Mariner să ajungă în imediata apropiere a cometei Encke ; în 1986, se poate încerca o întîlnire cu cometa Halley. Cu această ocazie se va utiliza sistemul bazat pe propulsia prin presiunea radiației solare, folosind o „pînză solară" din plastic aluminizat care, lansată în 1982 către Soare, se poate plasa, împreună cu cele 800 kg de aparatură, pe o orbită de așteptare a cometei Halley. Dacă, de exemplu, s-ar stabili că în comete există izotopul greu al hidrogenului, deuteriul, atunci am deduce că ele s-au format de mult, din materialul protostelar care nu suferise încă reacții nucleare (dat fiind că deuteriul

nu rezistă peste o anumită temperatură fără să fie distrus, datorită reacției nucleare cu protonii).

Și încă o întrebare, cea mai logică : sînt sau nu periculoase cometele? Ei bine, ele pot ciocni Pămîntul, deoarece se mișcă pe orbite necirculare în jurul Soarelui. Dar, spre liniștea noastră, s-a calculat că un fragment de materie cometară cu o masă în stare să producă un efect deosebit, poate izbi Pămîntul o dată la 10 milioane de ani. Dat fiind că ciocnirea se face cu 70 km/s, dacă Pămîntul și cometa se lovesc „față în față", energia degajată chiar în cazul interceptării unei sfere cu raza de 1 km ar disloca atmosfera terestră pe zeci de mii de kilometri pătrați. Este de bănuit că faimoasele tectite, sferule de sticlă ce se găsesc în anumite regiuni ale globului pămîntesc, au rezultat din astfel de ciocniri care au avut loc în trecutul îndepărtat al planetei noastre.

Chiar „meteoritul Tungus", care a căzut în Siberia în 1908, culcînd arborii pădurii pe o rază de 30 km în jur, se pare că, potrivit celor mai veridice calcule, ar fi fost un rest de cometă, care a explodat la mai mulți kilometri deasupra solului.

10. FORMAREA SISTEMULUI SOLAR

În drumul parcurs pînă acum prin spațiile vaste am întîlnit planete, asteroizi, sateliți, comete — animate de mișcări pe care am ajuns să le cunoaștem. Prin sistemul solar am înțeles tot timpul regiunea din spațiu asupra căreia Soarele își exercită influența și în care se întîlnesc, de asemenea, particule electrizate deplasîndu-se în cîmpuri magnetice, praf și gaz cosmic. Acest complex de obiecte fizice este greu de înțeles deodată, pentru că este unic, în sensul că nu cunoaștem altul asemănător. Credem că în univers mai există numeroase sisteme planetare, dar nu le-am putut studia, fiind prea departe. De aceea, în astronomie se întîmplă un lucru curios: despre obiectele apropiate știm mai puțin decît despre cele depărtate. De ce? Pentru că cele depărtate sînt mult mai numeroase și putem să le studiem făcînd comparații. Avem la dispoziție mii și mii de stele și doar un singur sistem planetar. Astfel, știm mai bine ce se întîmplă în centrul Soarelui, decît ce se petrece în centrul Pămîntului. Cunoaștem mai bine evoluția stelelor decît originea sistemului solar.

Totuși, se tinde astăzi la elaborarea unei teorii generale a formării sistemelor planetare, pornind de la existența unei nebuloase inițiale de materie

cosmică; aceasta, prin evoluție, a ajuns să genereze o stea centrală, înconjurată de planete. Întrebarea este dacă Soarele s-a format odată cu planetele sau nu, dintr-o materie interstelară sau din materie stelară propriu-zisă. Teoria Kant-Laplace din sec. 18 despre nebuloasa protosolară afirma mai degrabă filozofic, dar nu lipsit de adevăr, că Soarele și planetele s-au format simultan dintr-un nor interstelar. Teoriile moderne încearcă să precizeze însă condițiile și legile de formare care au făcut ca o masă de gaz ionizat, de densitate redusă, în rotație, să se condenseze și să formeze sistemul solar; se folosesc astăzi modele în care fizica plasmei, teoria gravitației și mecanica cerească încearcă să explice etapele de evoluție. Indiferent de model, se consideră că faza condensării inițiale a norului de materie cosmică a durat relativ puțin și o dovadă indirectă este existența rezonanțelor constatate în mișcările corpurilor sistemului solar, care nu s-au stabilit decît în decursul unei perioade îndelungate.

În general, două corpuri sînt în rezonanță cînd în mișcarea lor există relații simple exprimate prin numere întregi:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

unde T_1 și T_2 sînt perioadele de rotație (sau de revoluție) ale celor două corpuri, iar n_1 și n_2, numere întregi. Există rezonanță între orbite, cum este cazul planetelor Neptun și Pluto, unde raportul de mai sus între perioadele mișcărilor de revoluție este $\frac{2}{3}$. Planetele troiene sînt în rezonanță cu Jupiter, în raportul de $\frac{1}{1}$. Pămîntul este în rezonanță cu asteroidul Toro, în raportul $\frac{8}{5}$, asteroizii Hilda sînt în

rezonanță cu Jupiter în raportul $\frac{2}{3}$, doi din sateliții lui Saturn (Dione și Encelade) sînt în rezonanță 1/2 și este sigur că golurile din inelul asteroizilor și cele din inelul lui Saturn sînt tot efectul unor rezonanțe. Mai există rezonanța între rotația corpului în jurul axei sale și revoluția lui în jurul corpului central, cum este cazul mișcării planetei Mercur față de Soare. O rezonanță evidentă între rotație și revoluție este cea a Lunii față de Pămînt și chiar a lui Venus față de Pămînt, așa cum am amintit în capitolele respective.

Aceste regularități reflectă unele desfășurări ale istoriei corpurilor sistemului solar. O caracteristică fundamentală, pe care am anunțat-o dintru început, este transferul momentului cinetic de la steaua centrală — Soarele — către planete. Cu alte cuvinte, dacă am vrea să „oprim" mișcarea planetelor am depune un mult mai mare efort decît dacă am vrea să frînăm rotația Soarelui. S-a observat că norii de gaz interstelar sînt strîns legați de apariția stelelor tinere; în zonele respective se produce o condensare a materiei, cu apariția stelelor tinere ce se rotesc foarte rapid, așa cum poate și Soarele a făcut-o la început. Cu vremea, aceste stele se vor roti mai lent și atunci putem bănui că posedă un sistem planetar în jurul lor. În procesele de aglomerare a materiei inițiale s-au despărțit două tipuri de planete: cele din grupa Pămîntului (mai mici și mai dense), apropiate de Soare, și cele gigante, de slabă densitate, mai depărtate de Soare (fig. 21). Planetele gigante, deși mai masive, se rotesc mai repede decît cele mici, iar perioadele lor de rotație sînt cam aceleași, indiferent de masele lor.

O altă remarcă interesantă pe care o putem face este că planetele, suferind atîtea ciocniri și trans-

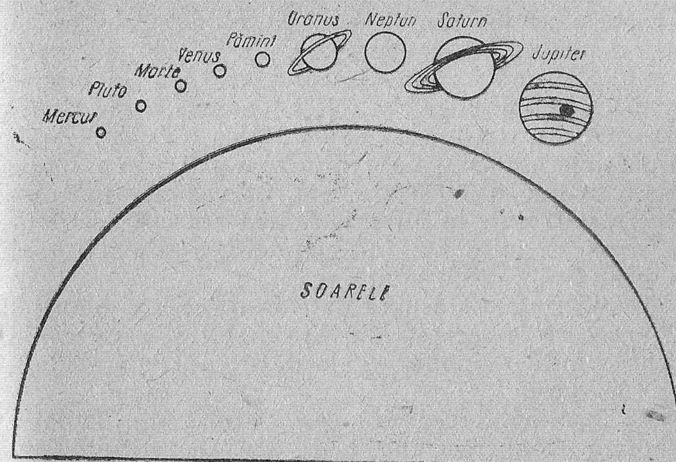


Fig. 21. Dimensiuni comparative ale planetelor sistemului solar.

formări, sînt mai puțin grăitoare pentru descifrarea istoriei formării sistemului solar decît micile obiecte — comete, meteoriți, asteroizi și sateliți ai planetelor — care au păstrat structuri mult mai clare, ce vorbesc despre momentele de început. Ordinea în care am enumerat aceste corpuri este chiar aceea a stadiilor lor de agregare, cele mai puțin evoluate fiind cometele. Prezentul este cheia trecutului, el ne conduce la reconstituirea celor petrecute, începînd cu momentele de acum 5 miliarde de ani.

Rotația rapidă a nebuloasei inițiale a produs o turtire în formă de disc a materiei componente, disc din care s-au format apoi planetele.

În procesul de condensare au luat naștere bucăți tot mai mari de materie care, circulînd pe orbite strînse (curenți), se ciocneau și se contopeau. Cu cît un corp era mai mare, atrăgea la sine din ce în ce mai multă materie, care se depunea pe el prin acreție.

Ipoteza cea mai nouă este că norul inițial de gaz și praf a început să se contracte sub influența directă a exploziei unei supernove apropiate sau s-a format chiar din resturile unui astfel de fenomen. S-au observat astfel, în constelația Canis Major (Cîinele Mare), în preajma unui rest de stea (care a suferit o explozie uriașă acum 600 000 de ani prin fenomenul de supernovă), stele în formare. Ideea aceasta a apărut în urma constatării în meteoriți a unor izotopi de abundență neobișnuită.

Concentrîndu-se asupra datelor fizice ale planetelor, pe care le recapitulăm în tabelul 5, oamenii de știință caută anumite regularități, pentru a deduce legi de bază.

Să examinăm scenariul care rezultă din situația prezentă. Planetele interioare sînt constituite din elemente chimice care nu intră în compoziția Soarelui decît în proporție de 0,4%. Uranus și Neptun sînt constituite din elemente care în Soare reprezintă doar 1,4%. Numai Jupiter și Saturn reprezintă proporțional mai bine compoziția solară deoarece, dată fiind masa lor, ele au reținut mai mult hidrogen și heliu. Aceste două gaze ușoare, constituente abundente ale Soarelui, s-au „evaporat" în bună parte înainte de formarea planetelor, din cauză că viteza de evaziune în afara unei planete din zona periferică a sistemului solar e mai mică. În cazul Pămîntului, această viteză este de 42 km/s, iar viteza lui orbitală (vezi tabelul 1) este de aproape 30 km/s, ceea ce înseamnă că moleculele de gaz pentru a scăpa de pe Pămînt în spațiul interplanetar trebuie să aibă o viteză cu cel puțin 12 km/s mai mare ca cea orbitală. Același calcul, efectuat pentru zona planetelor Uranus și Neptun, arată că este nevoie de un supliment de circa 3 km/s pentru obținerea unui efect similar. Se înțelege, de aceea, că gazele din apropierea Soarelui

Tabelul 5

Date fizice ale planetelor sistemului solar

Planeta	*Diametrul ecuatorial (km)*	*Turtirea*	*Masa (Pămînt = 1) M♀ = 5,977·10^27 g*	*Densitatea*		*Accelerația gravitației la ecuator (Pămînt = 1)*	*Viteza de evaziune la suprafață (km/s)*	*Temperatura medie pe fața luminată*
				(Pămînt = = 1)	*(g/cm³)*			
Mercur	4 878	0	0,055	0,98	5,42	0,39	4,3	+350 °C
Venus	12 100	0	0,816	0,95	5,25	0,89	10,4	+470
Pămînt	12 756	1/298,25	1,000	1,00	5,52	1,00	11,2	+20
Marte	6 788	1/190	0,107	0,71	3,97	0,38	5,1	0
Jupiter	141 700	1/15	317,99	0,24	1,33	2,35	60,2	−100
Saturn	120 000	1/10	95,15	0,12	0,68	0,93	35,8	−160
Uranus	50 800	1/18(?)	14,54	0,29	1,60	0,99	22,4	−170
Neptun	46 152	1/58(?)	17,16	0,30	1,65	1,38	25,1	−200
Pluto	~ 5 000	?	0,028	?	?	?	?	?

au fost gonite de radiația termică intensă de atunci a Soarelui, iar planetele din zona aceasta s-au format ca într-un cuptor.

Provin oare atmosferele planetelor ce formează grupa Pămîntului din cometele care le-au ciocnit ulterior?

Masa actuală a planetelor este o miime din masa Soarelui; probabil că pierderile de gaze sînt acelea care au redus-o atît, de la 1/20, cît se crede că reprezenta fracțiunea de materie din afara Soarelui.

Am înfățișat cîteva elemente ale concepției despre formarea și evoluția sistemului solar. Întrebarea firească care se pune acum este: există oare alte sisteme planetare? Răspunsul este: da, s-au observat astfel de situații.

Să examinăm așadar ce stele mai apropiate se cunosc, în jurul cărora ar putea gravita planete. Căci observarea directă a unei planete în jurul vreunei stele este foarte dificilă, dată fiind distanța; se poate deduce existența unei planete doar din perturbațiile pe care le exercită aceasta asupra mișcării soarelui respectiv. Grupul celor trei stele Proxima, aflate la 4,3 ani lumină, nu poate conține planete, fie și din motivul că orbitele lor nu ar putea fi stabile. Mai departe, steaua lui Barnard, care radiază în infraroșu la 6 ani lumină de noi, are diametrul de 120 000 km și posedă în jurul său două planete, deduse prin calcul! Una ar avea o masă de 250, cealaltă de 350 de ori mai mare ca a Pămîntului și s-ar roti la 450, respectiv, la 675 mil. km de stea. Sînt probabil cele mai mari planete ale acestui sistem, ale căror durate de revoluție sînt apropiate de cele ale lui Jupiter și Saturn.

Steaua Lalande 21 185, situată la 8,1 ani lumină, are o megaplanetă cu de 30 de ori masa lui Jupiter, care face o revoluție completă în 420 de zile. Sistemul dublu de stele 61 Cygni (la 11,2 ani lumină de noi)

are un satelit cu masa egală cu de 1,6 ori cea a lui Jupiter și se rotește în 4,9 ani în jurul celor două stele. O altă stea, BD +5° 1668 (la 12,2 anilumină) are un satelit care face o revoluție în 5 ani. Steaua Krüger-60 (la 12,8 ani lumină) este tot dublă, cu un satelit de 9 ori mai mare ca Jupiter și cu perioada de revoluție de 16 ani. Steaua BD +20° 2465 (la 16,1 a.l.) are o megaplanetă de 32 de mase joviene și cu perioada de revoluție de 26,5 ani. Eta Cassiopeiae (la 17,9 a.l.) este o stea dublă avînd un satelit cu de 10 ori masa lui Jupiter și perioade de revoluție de 24 ani.

În sfîrșit, singurul corp care a fost văzut prin telescop este o megaplanetă (de 80 de ori masa lui Jupiter!) care se rotește în jurul stelei Ross 614, situată la 13,1 ani lumină.

Condițiile de pe aceste planete, de a căror existență sîntem siguri, nu se aseamănă nici pe departe cu cele de pe Pămînt. Stelele respective sînt în general slabe ca luminozitate, sînt uneori duble — ceea ce face ca orbitele din jurul lor să nu fie apropiate de cerc, condiție esențială de existență a vieții. Pămîntul s-a bucurat de o sumă de condiții care au favorizat apariția vieții și, apoi, apariția inteligenței. Așezat nici prea aproape, nici prea departe de Soare, avînd o atmosferă și o hidrosferă netoxice, el este singurul „locuit" din sistemul nostru solar. Astronomii au dedus însă că în galaxia noastră există 100 000 de stele care pot poseda o planetă cu viață pe ea. Pe de altă parte este puțin probabil să existe viață inteligentă lîngă vreo stea mai aproape de 3000 de ani lumină de noi, ceea ce reprezintă o distanță...

După cum vedem, sîntem foarte singuri. Condiția aceasta a omului trebuie să ne facă deosebit de atenți cu privire la soarta propriei noastre planete. Căci avem un leagăn minunat — Pămîntul; să ne gîndim mai mult la el, să avem grijă să-și păstreze frumusețile.

CUPRINS

Coli de tipar : 4.
Tirajul : 32.000 ex.
Bun de tipar : 8. 03. 1978

Intreprinderea Poligrafică Cluj.
Municipiul Cluj-Napoca.
Str. Brassai 5-7.
Republica Socialistă România
Comanda nr. 566/1977





„Aş dori ca, după această lectură, cititorul să rămînă cu sentimentul imensităţii universului şi al frumuseţii legilor sale, să fie conştient că studiul astronomic în general şi al sistemului planetar în special a contribuit mult la dezvoltarea cunoaşterii, demonstrînd în mod spectaculos legitatea mişcărilor şi fenomenelor la scară mare."

Elena Toma

Editura ştiinţifică şi enciclopedică

Lei 2,60